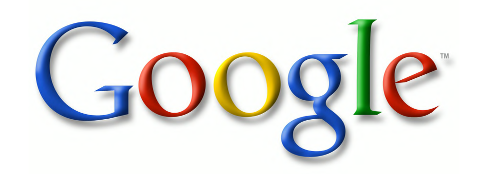




L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DIRECTION SCIENTIFIQUE

A. D'ARSONVAL
PROFESSEUR AU COLLÈGE DE FRANCE,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

A. CORNU
PROFESSEUR A L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

G. LIPPMANN
PROFESSEUR A LA SORBONNE
MEMBRE DE L'INSTITUT.

D. MONNIER
PROFESSEUR A L'ÉCOLE CENTRALE
DES ARTS ET MANUFACTURES.

H. POINCARÉ
PROFESSEUR A LA SORBONNE,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

A. POTIER
PROFESSEUR A L'ÉCOLE DES MINES,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

A. WITZ
INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES,
PROFESSEUR A LA FACULTÉ LIBRE DES SCIENCES DE LILLE.

J. BLONDIN
AGRÉGÉ DE L'UNIVERSITÉ
PROFESSEUR AU COLLÈGE ROLLIN.

TOME XXV

4e TRIMESTRE 1900

PARIS

GEORGES CARRÉ ET C. NAUD, ÉDITEURS

3, RUE RACINE, 3

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE [1]

GROUPE ÉLECTROGÈNE DE 1200 KILOVOLTS-AMPÈRES DE LA SOCIÉTÉ L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE ET DE MM. DUJARDIN ET Cie

La Société l'Éclairage Électrique, une des plus anciennes maisons d'électricité en France et qui fut chez nous le berceau des courants alternatifs, a exposé plusieurs dynamos en service dont un alternateur, étudié spécialement pour le transport de la force motrice par petits et moyens moteurs, et accouplé directement à un moteur à vapeur de MM. Dujardinet Cie de Lille.

Ce groupe est représenté sur la photographie de la figure 1.

Moteur a vapeur. — Ce moteur est du type compound, à deux cylindres horizontaux en tandem, à condensation.

A la vitesse de 80 tours, le coefficient d'irrégularité est d'environ $\frac{1}{300}$ correspondant à un PD^2 égal à 700 000.

Le cylindre à basse pression est fixé au bâti. L'arrière du cylindre à basse pression et le cylindre à haute pression reposent simplement sur un bâti qui leur sert de glissière ; les cylindres se trouvent ainsi entièrement libres dans leurs mouvements de dilatation.

La distribution de la vapeur dans le cylindre à haute pression est du système à 4 tiroirs, genre Corliss, placés à la partie inférieure du cylindre et à déclic commandé par le régulateur pour les tiroirs d'admission.

Dans le cylindre à basse pression, la distribution de la vapeur se fait également par 4 obturateurs cylindriques, genre Corliss, placés à la partie inférieure du cylindre, mais sans déclic.

Chaque cylindre est muni d'une enveloppe de vapeur; pour le cylindre à haute pression, c'est la vapeur venant de la chaudière qui circule dans l'enveloppe avant son admission dans le cylindre. Le fond et le couvercle de ce cylindre sont également chauffés par la vapeur venant du sécheur qui est intercalé dans la conduite de vapeur le plus près possible du cylindre à haute pression.

L'enveloppe et le fond du cylindre à basse pression sont chauffés par la vapeur détendue; il en est de même de l'enveloppe du réservoir intermédiaire ou receiver placé entre les deux cylindres.

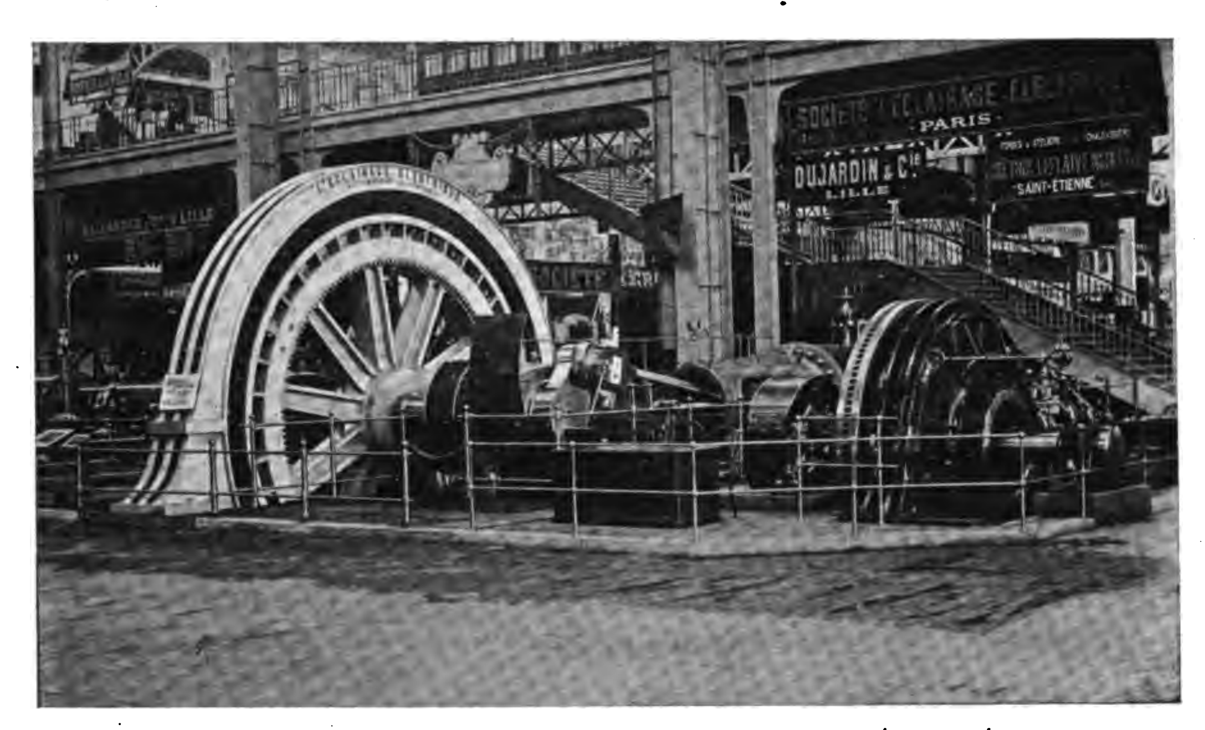


Fig. 1. — Groupe électrogène de 1 200 kilovolts-ampères de la Société l'Éclairage Électrique et de MM. Dujardin et Cie.

Un appareil à dilatation est interposé entre ce réservoir et le cylindre à haute pression.

Le condenseur par mélange est muni d'une pompe à air verticale, à simple effet et à 3 zones de clapets, commandée par un balancier à deux branches actionné par la crosse des tiges de piston. Le condenseur et la pompe sont placés dans les fondations.

Deux appareils de sûreté, dits casse-vide, sont placés dans le condenseur à des hauteurs différentes pour supprimer, par le soulèvement de leurs flotteurs et l'ouverture de leurs soupapes qui établissent la communication avec l'air extérieur, l'arrivée de l'eau et éviter les coups d'eau que pourrait provoquer une élévation accidentelle du niveau de l'eau à l'intérieur du condenseur.

La machine peut marcher au besoin à échappement libre.

Le graissage intérieur des cylindres se fait par des graisseurs mécaniques à pompe. Toutes les autres pièces en mouvement se graissent en marche ; les pièces principales sont graissées d'une façon continue par une circulation d'huile refoulée par une petite pompe rotative placée sur le parquet du moteur.



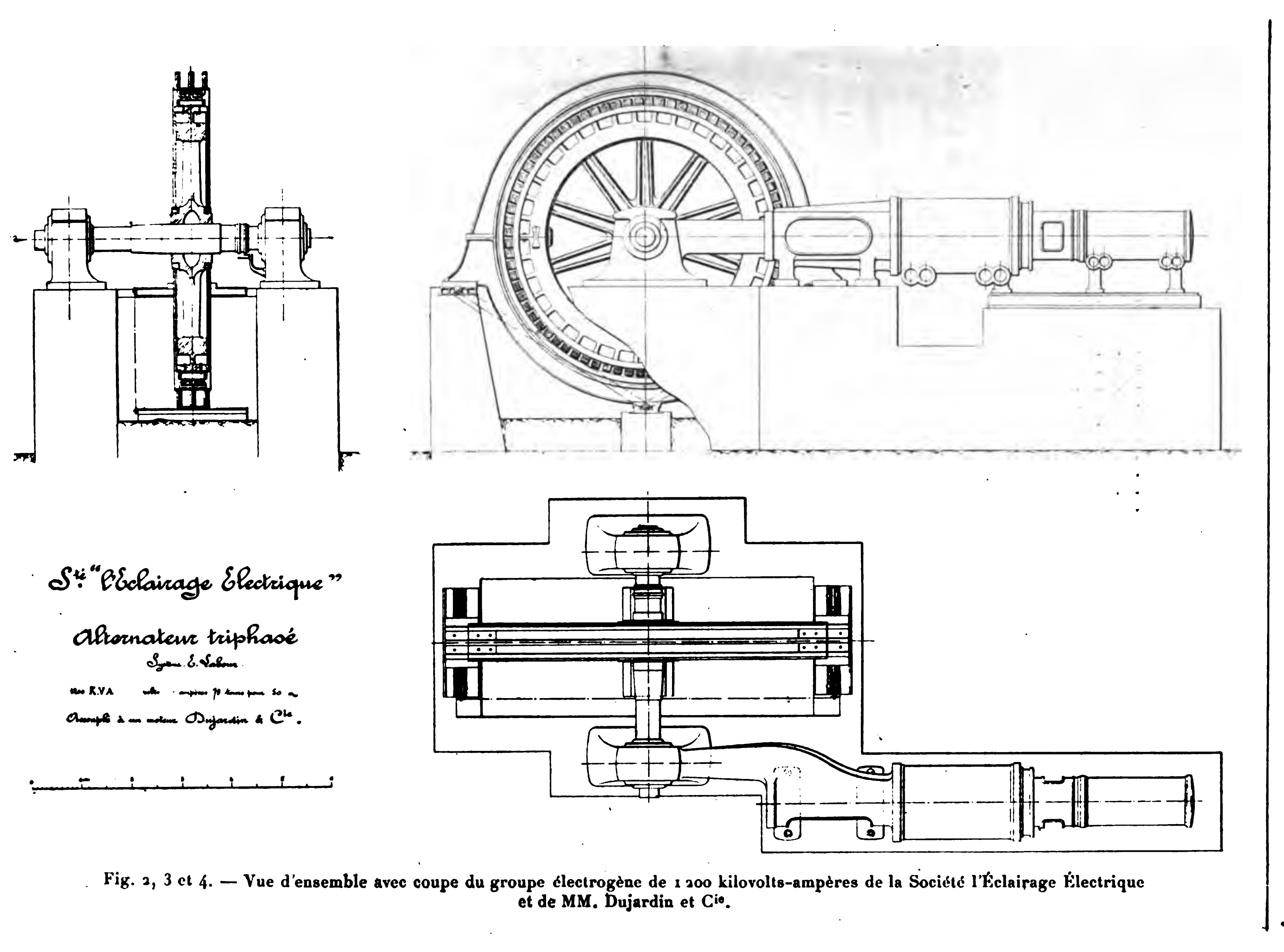


Fig. 2, 3 et 4. — Vue d'ensemble avec coupe du groupe électrogène de 1 200 kilovolts-ampères de la Société l'Éclairage Électrique et de MM. Dujardin et Cie.

Sur ce parquet, par le travers du cylindre à haute pression, se trouve une colonnette où l'on a groupé tous les organes de manœuvre pour la mise en route.

Les dimensions principales du moteur sont :

Diamètre du petit cylindre	65 cm
Diamètre du grand cylindre	110 »
Course commune des pistons	135 »
Vitesse angulaire en tours par minute	80 »

A la pression de 9 kg : cm² et par une détente de 17 fois le volume de la vapeur la puissance est de 850 chevaux indiqués : 480 chevaux pour le cylindre à haute pression et 370 chevaux sur le cylindre à basse pression.

Alternateur. — L'alternateur exposé par la Société l'Éclairage Électrique a été étudié par M. E. Labour, directeur technique de la Société. C'est un des plus curieux et des mieux établis de l'Exposition.

Cet alternateur destiné à alimenter des moteurs asynchrones, fonctionnant généralement avec des charges assez faibles, a en effet dû être calculé pour pouvoir fournir sa puissance apparente avec un facteur de puissance particulièrement faible. On a adopté la valeur de 0,5, mais la machine peut fonctionner facilement avec un facteur de puissance presque nul, le supplément d'excitation nécessaire étant très faible.

La puissance apparente de l'alternateur est de 1 200 kilovolts-ampères et la puissance vraie minimum de 600 kilowatts. L'induit est groupé en étoile.

La tension aux bornes sera normalement de 5 000 volts et le débit par phase de 140 ampères.

La vitesse angulaire est de 79 tours par minute et la fréquence de 50 périodes par seconde.

A l'Exposition, où l'alternateur est inscrit pour une puissance de 600 kilowatts avec le facteur de puissance admis ordinairement pour un service d'éclairage, la tension a été réduite à 3 200 volts aux bornes de façon à permettre l'utilisation de transformateurs à 3 000 volts dont la Société l'Éclairage Électrique s'est fait depuis longtemps une spécialité pour les secteurs à courants alternatifs de Paris et de la province.

Les figures 2, 3 et 4 représentent des vues d'ensemble du groupe.

Inducteur. — L'inducteur (fig. 5 et 6), a une forme tout à fait caractéristique et originale. Il a l'aspect d'un volant ordinaire en fonte, à la jante duquel la couronne inductrice, également en fonte, serait fixée par des nervures radiales, une par paire de pôles, et par une nervure courant tout autour de la jante.

Le volant et la carcasse inductrice sont coulés en deux parties assemblées à la jante par des boulons et par des agrafes en forme de double T introduites à chaud dans des logements pratiqués sur les faces latérales.

En outre, deux frettes circulaires sont posées à l'endroit des joints sur la surface intérieure de la jante.

Chaque demi-couronne est supportée par 4 bras qui la réunissent au moyeu dont le serrage sur l'arbre est obtenu uniquement à l'aide de deux frettes en acier. L'entraînement se fait par une seule clavette.

Les pôles inducteurs, au nombre de 76, sont en acier doux et ont une section rectangulaire. Les noyaux polaires sont très bas, de façon à diminuer la dispersion. Ils sont élargis à leur partie inférieure en contact avec la jante, de façon à diminuer la résistance magnétique du joint.

Les pièces polaires ont une section, perpendiculaire à l'axe, trapézoïdale ; elles présentent



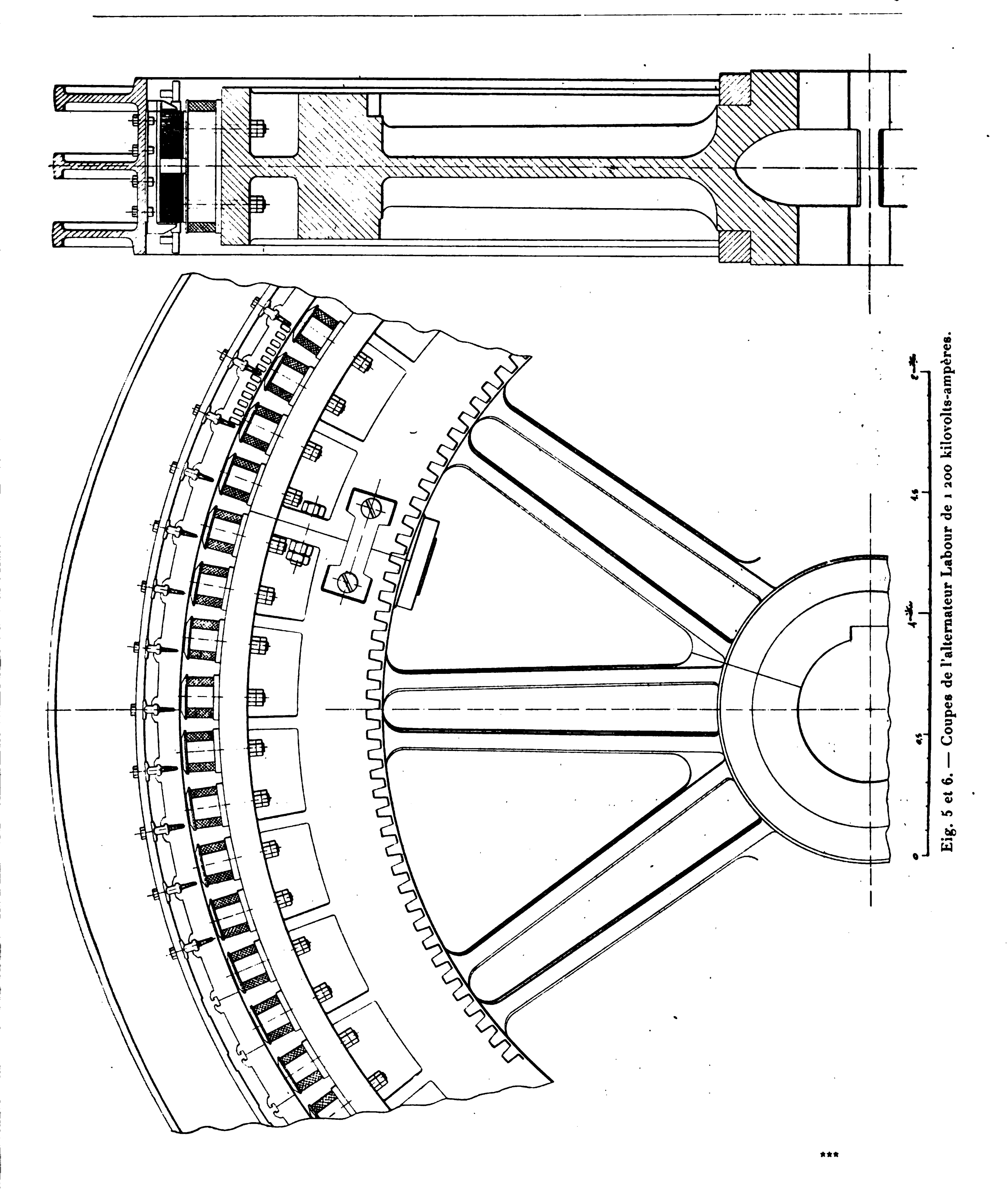


Fig. 5 et 6. — Coupes de l'alternateur Labour de 1 200 kilovolts-ampères.

***

un évidement en leur milieu en face d'un canal pour la ventilation ménagé entre les tôles induites.

La fixation des pôles est faite par des vis serrées par des écrous et des contre-écrous sur la couronne inductrice dans les niches formées par les nervures.

Le diamètre extérieur de l'inducteur est de 5,69 m et la largeur de la jante de 65 cm.

La longueur utile des pièces polaires dans le sens de l'axe est de 40 cm, et celle de l'évidement, au milieu, de 6 cm, soit en tout une largeur de 46 cm. La largeur des épanouissements est de 18 cm à la base et de 12 cm dans l'entrefer.

Les bobines inductrices sont enroulées sur des carcasses métalliques avec joues en bois.



Fig. 7. — Alternateur Labour de 1 200 kilovolts-ampères. L'induit a été déplacé pour montrer la construction de l'inducteur.

Elles sont faites en fil rond de 8 mm de diamètre et portent chacune 44 spires réparties en 4 couches de 11 spires.

Toutes les bobines sont montées en série ; la résistance du circuit inducteur à chaud est de 1,60 ohm.

Le poids du cuivre de l'inducteur est de 1 817,5 kg ou 24,7 kg par électro.

Le poids total du volant sans l'arbre atteint 45 000 kg.

Induit. — La carcasse de l'induit est coulée en deux parties ; elle se compose d'un cylindre de fonte, avec ouvertures pour la ventilation, consolidé par trois anneaux égaux.

La partie inférieure de la carcasse porte deux pattes par lesquelles elle repose sur deux bancs ou plaques de fondation. Un troisième banc est placé à la partie la plus basse de la moitié inférieure.

L'ensemble de l'induit peut glisser le long des trois bancs à l'aide d'un système de vis tangentes et de chaînes, de façon à permettre le dégagement complet de l'inducteur pour visiter l'induit et y faire l'entretien et les réparations nécessaires.

La photographie de la figure 7 représente l'aternateur avec son induit déplacé.

Le diamètre extérieur de la carcasse de l'induit est de 6,72 m et son diamètre intérieur de 6 m.

La largeur de cette carcasse ne dépasse pas 72 cm.

Le circuit magnétique induit est formé par deux couronnes de tôles de 0,4 mm d'épaisseur, isolées magnétiquement de la carcasse. A cet effet, la carcasse porte un certain nombre de bras en bronze, un par pôle et à section en forme de T sur les branches duquel viennent s'appuyer des projections ménagées sur les tôles.

Ce système a l'avantage de laisser les couronnes de tôles complètement dans l'air ce qui assure leur ventilation parfaite et permet de réduire le volume du fer.

L'enroulement induit est réparti dans des trous dont la section est formée d'un rectangle surmonté du côté de l'entrefer d'un triangle isocèle à angle au sommet très obtus. Le sommet de ce triangle détermine ainsi un isthme très étranglé dont la largeur est de 2 mm environ et qui par suite se sature très vite. Chaque trou est muni d'un tube en micanite de 3 mm d'épaisseur.

Chaque pôle induit comporte 6 trous dans lesquels sont réparties trois bobines comme dans les enroulements triphasés ordinaires à 6 bobines par paire de pôles.

La largeur de chaque bobine est sensiblement la même que celle de la partie supérieure des pièces polaires.

Chaque bobine est formée de 5 spires de deux câbles de 20 mm² de section disposés en parallèle.

Les 76 bobines d'une même phase sont montées en série et les trois phases groupées en étoile.

La résistance de chacune d'elles est de 0,30 ohm à chaud.

Le poids de cuivre de l'induit est de 715 kg.

Le poids de l'induit sans les plaques de fondation est de 17 700 kg.

Le diamètre d'alésage de l'induit est de 5,70 m laissant un entrefer de 0,5 cm seulement.

La hauteur radiale des tôles induites est de 9 cm dont la moitié est occupée par les trous. La largeur de chacune des couronnes de tôle est de 20 cm; ces couronnes sont séparées par un intervalle de 6 cm assurant leur ventilation.

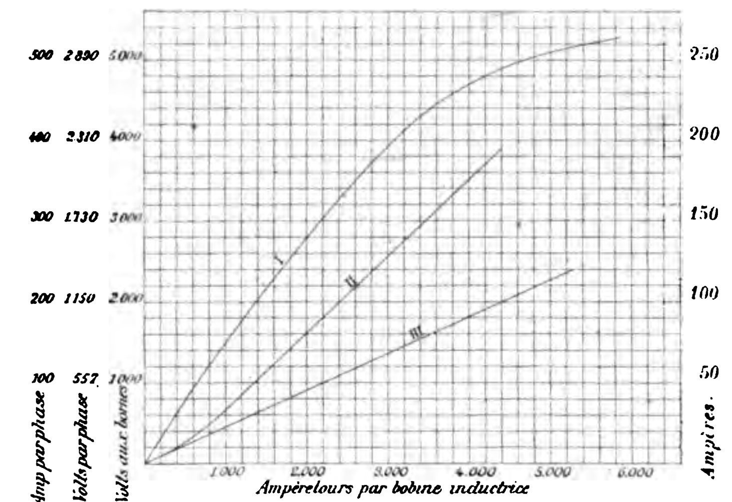


Fig. 8. — Caractéristiques de l'alternateur Labour de 1 200 kilovolts-ampères sous 5 000 volts aux bornes.

I. Caractéristique à vide à la vitesse de 77,5 t: m.

II. Caractéristique.

III. Correspondance des ampèretours par bobine inductrice au courant d'excitation.

Résultats d'essais. — Les courbes de la figure 8 représentent la caractéristique à vide (courbe I) pour une vitesse de 77,5 tours par minute (49 périodes) et la caractéristique en court-circuit (courbe II) en fonction des ampèretours par bobine inductrice. La droite III indique la correspondance des ampèretours inducteurs et de l'intensité du courant d'excitation.



L'intensité du courant d'excitation pour obtenir à vide la tension normale est de 5 000 volts à la fréquence de 50 périodes est de 105 ampères. L'intensité du courant d'excitation nécessaire pour obtenir l'intensité normale du débit en court-circuit est de 40 ampères et correspond à une tension induite égale environ à la moitié de la tension normale.

En charge, avec un facteur de puissance égal à l'unité, l'intensité calculée du courant d'excitation est de 126 ampères et l'augmentation de tension en cas de décharge brusque sans variation de vitesse de 5 p. 100 environ. Avec un facteur de puissance de 0,5, le courant d'excitation atteindra 210 ampères et la chute de tension sera de 11 p. 100 seulement.

La caractéristique en court-circuit a une forme spéciale, il s'incurve légèrement au voisinage de l'origine contrairement à ce qui se passe en général. La résistance apparente est donc plus grande pour un très faible courant de court-circuit que pour un courant normal.

Cette particularité qui se rencontre dans les machines à induit à trous tient à ce que, pour de faibles intensités, les isthmes ne sont pas saturés.

Le rendement électrique de l'alternateur en charge avec $\cos \varphi = 1$ est de 94,5 p. 100.

Les pertes sont les suivantes :

Pertes par hystérésis et courants Foucault	27,000 watts
Pertes par effet Joule dans l'induit	17,600 »
Pertes par effet Joule dans l'inducteur	24,500 »
Total	69,100 »

Avec un facteur de puissance de 0,5, le rendement apparent est de 90,3 p. 100.

Le poids de cuivre total est de 2 532 kg soit 4,2 kg par kilowatts réels ou 2,1 kg par kilovolts-ampères. En volts-ampères par kilo de cuivre on obtient le chiffre de 2,475, chiffre très élevé indiquant une utilisation très bonne de matériaux.

GROUPE ÉLECTROGÈNE DE 50 KILOWATS A COURANT CONTINU DE LA SOCIÉTÉ L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE ET MM. BOULTE ET LARBODIÈRE ET Cie

Le courant d'excitation de l'alternateur Labour de 1200 kilowats-ampères est fourni par un petit groupe (fig. 1), formé d'un moteur à vapeur de MM. Boulte, Larbodière et Cie et d'une dynamo Labour de 50 kilowatts.

Moteur. — Le moteur Boulte, Larbodière et Cie appartient au type des moteurs à grande vitesse ; il est d'invention récente. Les premiers moteurs construits par MM. Boulte et Larbodière datent en effet de deux à trois ans [1].

Ces moteurs sont caractérisés par leur mode spécial de graissage central sous pression qui assure une lubréfication énergique de toutes les pièces en frottement: glissières, coussinets, paliers, etc. Leur rendement mécanique par suite du graissage et de la simplicité des organes atteint facilement pour les puissances moyennes 95 p. 100 et la consommation de vapeur par cheval effectif y est assez faible.

Le moteur actionnant l'excitatrice Labour, d'une puissance de 75 chevaux effectifs, est du type compound, à deux cylindres en tandem. Les dimensions principales en sont :

Diamètre des cylindres à haute pression	188 mm
Diamètre des cylindres à basse pression	300 »
Course commune des pistons	220 »
Pression de la vapeur	10 kg : cm²
Vitesse angulaire en tours par minute	400 »

[1] On trouvera une description plus complète de ces moteurs dans l'*Éclairage Électrique* du 9 septembre 1899, page 361, volume XX.



Les dimensions d'encombrement sont de 92 et 124 cm en plan et 227,2 cm en hauteur.

Les figures 2 et 3 représentent une vue et une coupe du moteur.

Le graissage sous pression s'obtient par une pompe à huile spéciale, commandée par le moteur lui-même. Cette pompe ne comporte ni clapets ni garniture. L'huile est refoulée dans des canaux forés dans tous les organes à lubréfier. Le résultat immédiat de ce système de graissage est d'empêcher tout contact entre les pièces en frottement du mécanisme et par suite de supprimer pratiquement l'usure.

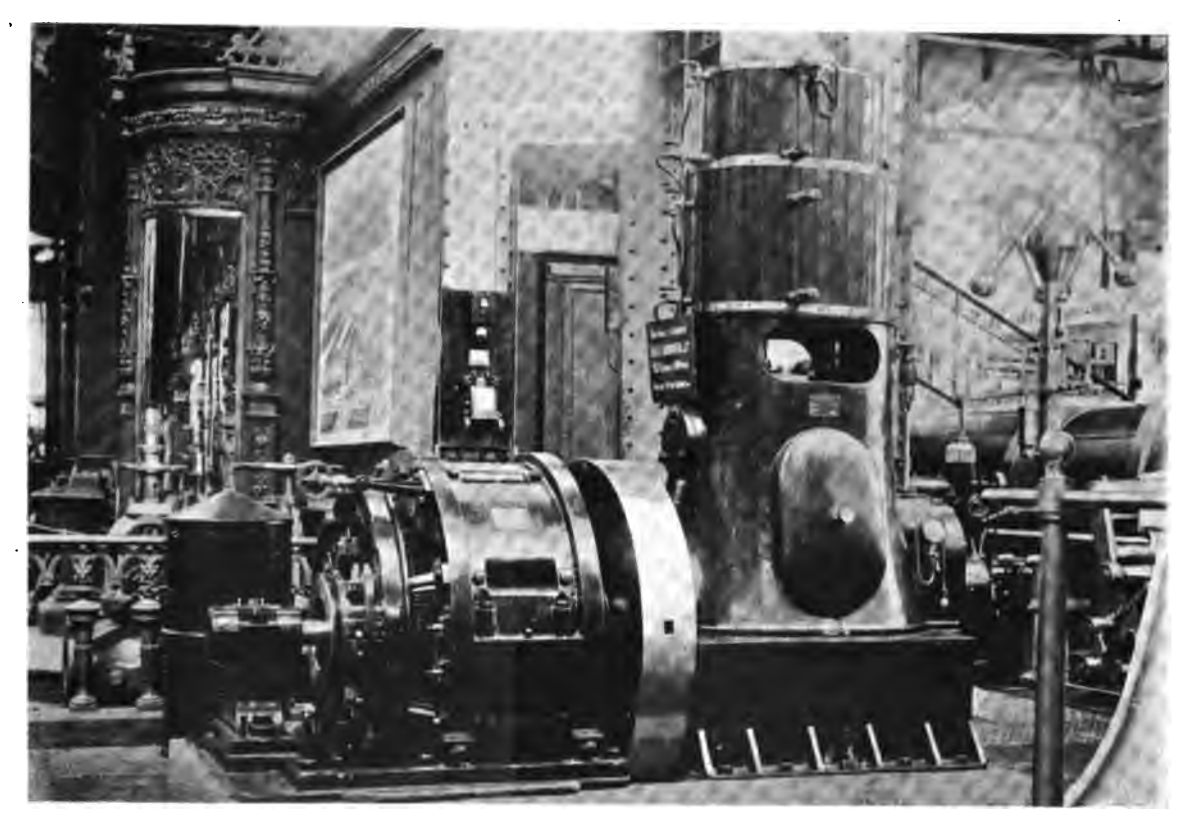


Fig. 1. — Groupe électrogène de 50 kilowatts à courant continu de la Société l'Éclairage Électrique et de MM. Boulte Larbodière et Cie et servant à l'excitation de l'alternateur Labour de 1200 kilovolts-ampères.

Les coussinets, colliers d'excentriques, presse-étoupes et autres pièces de frottement sont en bronze dur avec grande surface de portage.

Dynamo. — La dynamo est du type Labour; sa puissance normale de 60 kilowatts 270 ampères, sous 220 volts. Sa puissance à l'exposition est de 50 kilowatts, 280 ampères sous 180 volts. Cette dynamo est du type spécial pour l'accouplement direct avec les moteurs à grande vitesse. L'ensemble est combiné pour le minimum d'encombrement avec toutes facilités de visite et de démontage et en vue des applications à la marine. Les figures 4, 5 et 6 qui représentent des vues du groupe montrent bien la compacité de l'ensemble.

Pour une installation à terre comme à l'Exposition, le moteur et la dynamo sont installés séparément sur un socle en maçonnerie. A bord d'un bateau le socle serait en fonte et commun.

La vitesse de la machine est de 400 tours par minute et le nombre de pôles de 8.

Induit. — L'induit est manchonné rigidement avec le volant et s'appuie d'autre part sur un palier à rotule fixé sur le socle.

Les manchons de l'induit et du collecteur sont munis, comme le montre la figure 7, de canaux assurant une ventilation énergique.

L'induit, dont une coupe perpendiculaire à l'axe à grande échelle est représentée sur la figure 8, est denté et constitué par des tôles isolées de 4 dixièmes de millimètre.

Le diamètre extérieur de l'induit est de 60 cm et la largeur de la pile de tôles de 30 cm.



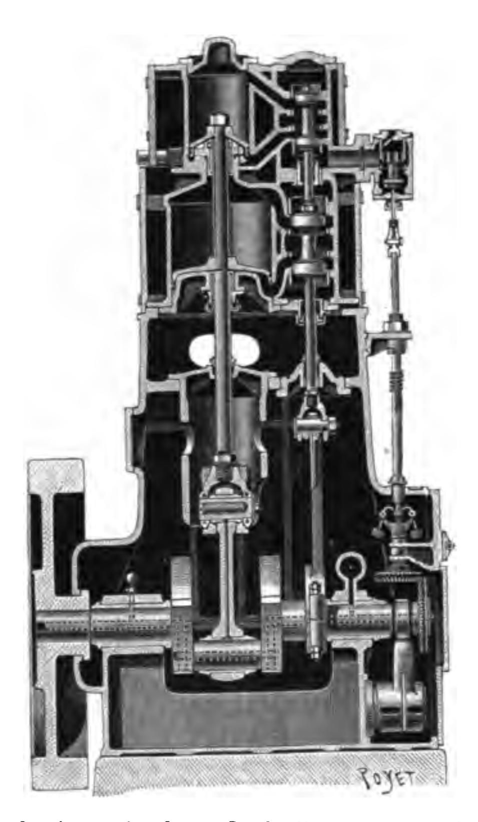


Fig. 2 et 3. — Vue extérieure et coupe d'une machine à grande vitesse Boulte et Larbodière, compound, à double effet et à graissage sous pression.

Les sections de l'induit, réparties dans 128 rainures, sont au nombre de 128, soit 16 par pôle. Ces sections sont bobinées sur gabarit et peuvent être retirées séparément; elles comportent chacun 3 spires formées par 2 fils de 2,1 mm de diamètre, montés en parallèle.

L'entrefer est de 6 mm.

Le collecteur, formé de 128 lames, est isolé au mica, son diamètre est de 36 cm et sa largeur de 18 cm.

L'induit est enroulé en quantité et le courant est recueilli par 8 lignes de 4 balais.

Les porte-balais qui sont représentés à part sur la figure 7, sont d'un type très commode; ils glissent dans leurs supports pour atteindre une fois pour toutes le réglage convenable. Les balais sont en charbon, à section rectangulaire, et appuient normalement sur le collecteur. Une disposition spéciale des porte-balais assure une pression constante à tout degré d'usure de ce charbon.

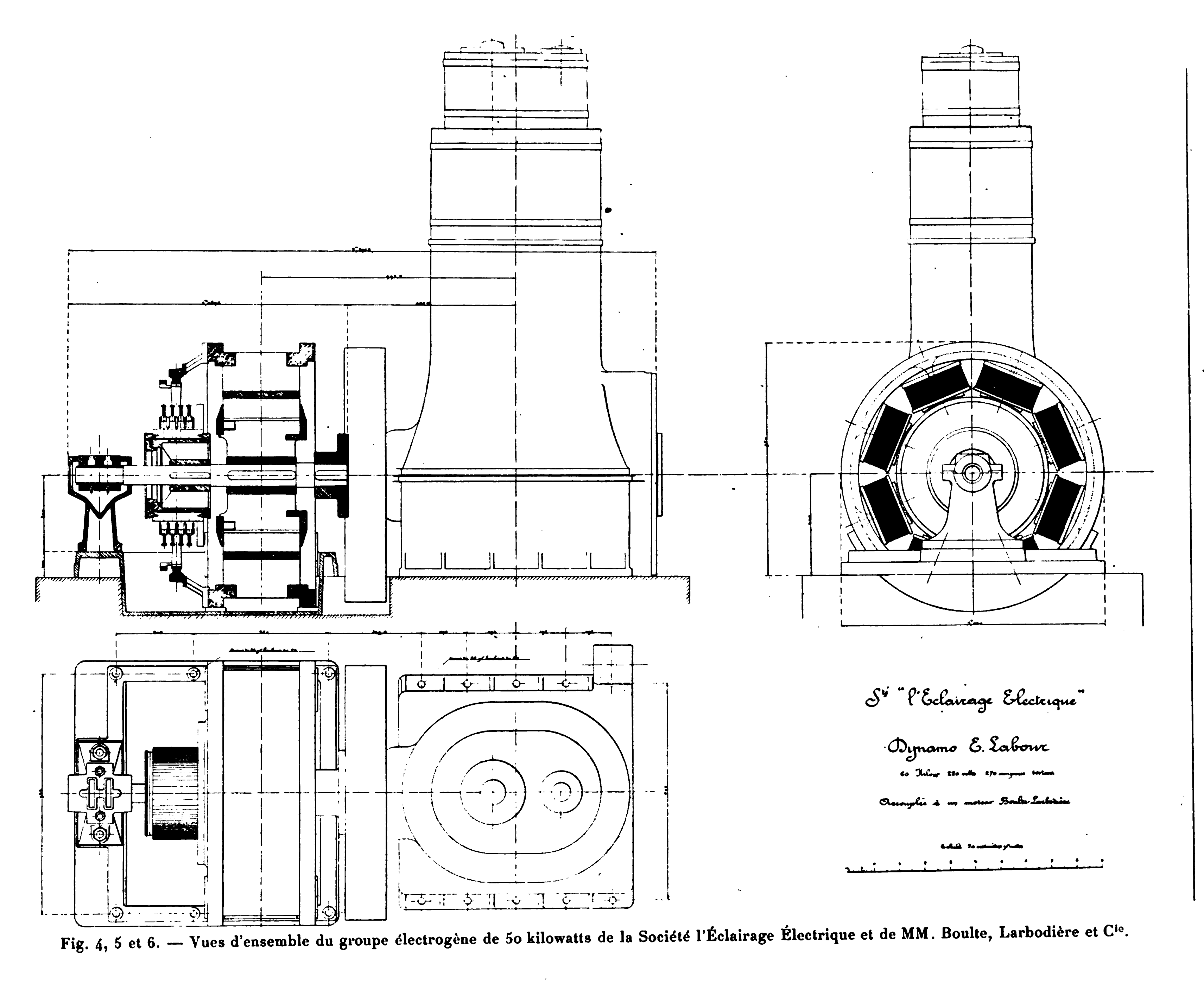


Fig. 4, 5 et 6. — Vues d'ensemble du groupe électrogène de 50 kilowatts de la Société l'Éclairage Électrique et de MM. Boulte, Larbodière et Cie.

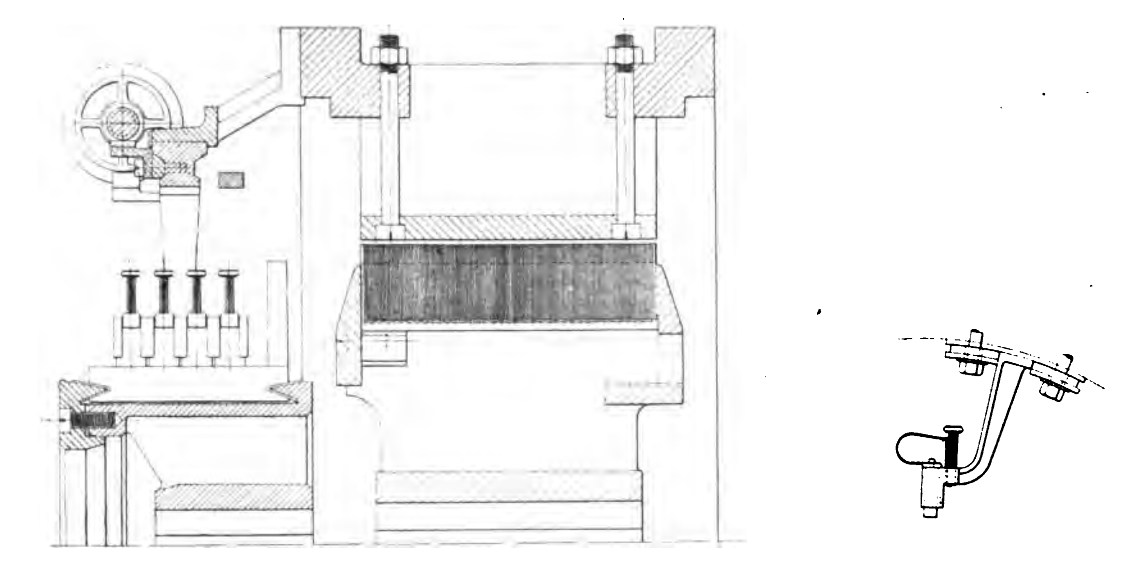


Fig. 7. — Coupe par l'axe d'une dynamo Labour type LM,60 montrant les canaux de ventilation de l'induit et du collecteur.

Fig. 8. — Coupe perpendiculaire à l'axe d'une dynamo Labour, type LM,60.

L'ensemble du support des porte-balais peut tourner légèrement autour de la couronne inductrice à l'aide d'une vis tangente actionnée par un volant à main.

La résistance de l'induit entre balais est de 0,016 ohms à chaud.

Le poids de l'induit tout monté est de 376 kg, dont 36 pour le cuivre induit.

Inducteur. — La couronne inductrice est en deux parties et fixée sur une surface cylindrique. Ce dispositif a pour but de permettre de visiter la partie inférieure de l'inducteur en la faisant rouler pour l'amener à la partie supérieure.

L'inducteur est en acier doux, les noyaux sont venus de fonte avec la carcasse ; ils sont séparés en deux parties par une fente radiale qui intervient pour réduire la réaction d'induit.

Les pièces polaires sont rapportées et fixées à la carcasse par deux vis logées dans l'entrefer ménagé au milieu de chaque pôle.

La machine est excitée en dérivation.

Les bobines inductrices sont enroulées sur des carcasses en métal ; elles comportent chacune 580 spires de fil de 2,2 mm de diamètre. Les huit bobines sont en série et leur résistance est de 21,60 ohms.

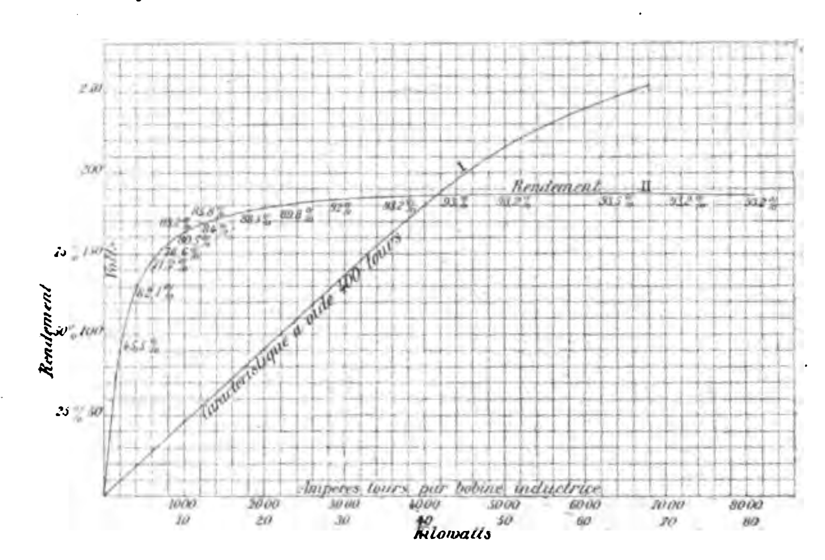


Fig. 9. — Caractéristique à vide d'une dynamo Labour type ML60 et courbes des rendements à diverses charges par une tension de 180 volts.

Le diamètre d'alésage de l'inducteur est de 61,2 cm ; son diamètre extérieur est de 104 cm.

La surface des épanouissements polaires est de 30 × 18 ou 540 cm².

Le poids de l'inducteur est de 970 kg dont 150 pour le cuivre.

Résultats d'essais. — Les courbes de la figure 9 reproduisent les caractéristiques à vide et en charge à tension constante de la dynamo Labour de 50 kilowatts.

L'excitation pour la marche à vide à 180 volts est de 6,9 ampères, en pleine charge l'intensité du courant d'excitation est de 8,05 ampères. La chute de tension est de 16,5 p. 100.

Cette machine peut supporter une surcharge de 50 p. 100, ou donner sa puissance aux deux tiers du voltage sans aucun déplacement de balais et sans étincelles.

Par suite de l'aération des fils et des croisillons de l'induit et du collecteur l'augmentation de température n'atteint pas 30° en régime permanent.

Une dynamo du même type est exposée dans la classe 118 (Palais des armées de terre et de mer) et accouplée à une machine Delaunay-Belleville de 40 chevaux.

Le rendement de la dynamo en pleine charge est de 93,2 p. 100 ; les pertes sont les suivantes :

Effet Joule induit	1 340
» inducteur	1 400
Pertes à vide	750

Le poids total du cuivre est de 186 kg, ce qui correspond à une utilisation de 270 watts par kilogramme ou 3,7 kg par kilowatt.

****



GROUPE ÉLECTROGÈNE A COURANT CONTINU DE 200 KILOWATTS DE LA SOCIÉTÉ L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE ET MM. BIÉTRIX ET Cie

En dehors du petit groupe à courant continu servant à l'excitation de l'alternateur et que nous venons dedécrire, la Société l'Éclairage Électrique a exposé, en collaboration avec MM. Biétrix, Leflaive, Nicolet et Cie de Saint-Etienne, un autre groupe à courant continu d'une puissance de 200 kilowatts et représenté sur la photographie de la figure 1.

Moteur a vapeur. — Le moteur à vapeur construit par MM. Biétrix, Leflaive, Nicolet et Cie est le seul à distribution par soupape qui fonctionne dans la section française. Le système de soupape adopté est celui à cataracte d'huile de l'ingénieur Collmann, système employé dans quelques machines des sections allemandes et autrichiennes.

Ce moteur à vapeur est du type compound horizontal à deux cylindres en tandem ; le cylindre à basse pression est fixé au bâti et le petit cylindre placé à l'arrière.

La distribution se fait à l'aide de quatre soupapes par cylindre : deux placées à la partie supérieure, pour l'admission et deux placées à la partie inférieure, pour l'échappement.

Les excentriques de commande des soupapes sont montées sur un arbre disposé parallèlement à l'axe commun des cylindres, muni d'un volant et commandé par engrenage conique par l'arbre principal.

La disposition des soupapes est représentée sur la figure 2.

Un excentrique de distribution E actionne un loquet *K* lequel vient soulever le levier I de la soupape d'admission. Le contact du levier I avec le loquet *K* se fait sans bruit, même aux grandes vitesses, parce que ce contact s'établit au moment où l'excentrique est au point mort. Le déclic de la soupape d'admission se fait au moyen d'une came montée sur l'arbre de détente W, arbre qui est lui-même actionné par un régulateur très sensible. La soupape d'admission se ferme sous l'action d'un puissant ressort qui lui donne d'abord une vitesse très grande ; puis la vitesse est ralentie dans la dernière période, grâce à un dispositif ingénieux dont la description sera donnée plus loin.

La soupape d'échappement est commandée par un excentrique A, dont la tige AD fait osciller la came D ; celle-ci, par le moyen du galet R et du levier RJ, met la soupape en mouvement. Au point mort de la course du piston, la soupape est à peu près entièrement ouverte et reste dans cette position presque pendant toute la période d'échappement ; puis elle se ferme brusquement et vient reposer doucement sur son siège.

La partie caractéristique de la distribution Collmann réside dans la construction des soupapes d'admission.

La tige T de la soupape porte un piston P, qui se meut dans un cylindre C rempli d'huile (fig. 3) ; ce piston porte sur son pourtour une rangée d'ouvertures *aa* ayant la forme indiquée figure 4.

Lorsque la soupape d'admission s'ouvre, elle soulève le piston P, et les ouvertures *aa* sont découvertes peu à peu par l'arête *ii* ; dès le début du mouvement, les petites ouvertures *bb* se sont complètement ouvertes, de sorte que la soupape se lève sans éprouver de résistance ; l'huile qui se trouvait à la partie supérieure du cylindre C passe à la partie inférieure par des orifices dont la grandeur croît avec la course de la soupape. A la fin de l'admission, les organes de la distribution abandonnent la soupape, et celle-ci tend à se refermer sous l'influence d'un ressort. Les ouvertures *bb* se referment brusquement.

La fermeture de la soupape est d'abord très rapide parce que l'huile contenue dans la partie inférieure du piston C trouve une large issue par les ouvertures *aa*, mais celles-ci



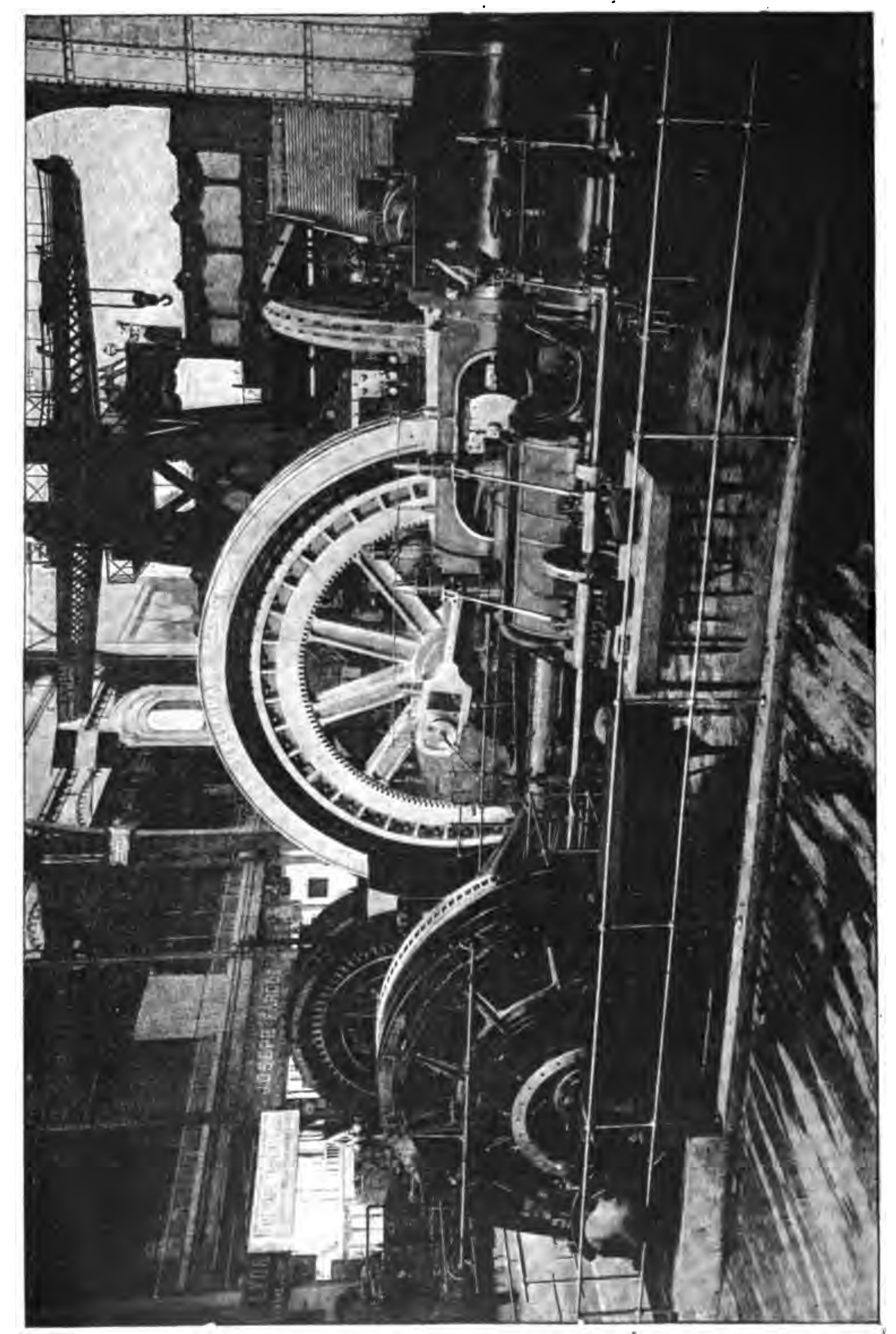


Fig. 1. — Groupe électrogène Biétrix-Labour (courant continu). — Groupe électrogène Dujardin-Labour (courants triphasés).

sont peu à peu recouvertes par l'arête *ii*; finalement il ne reste plus qu'un tout petit orifice de passage, et la fermeture s'achève avec une très grande lenteur. A ce moment, la course qui reste à parcourir avant la fermeture hermétique est excessivement petite.

La soupape vient se poser sur son siège sans le moindre choc.

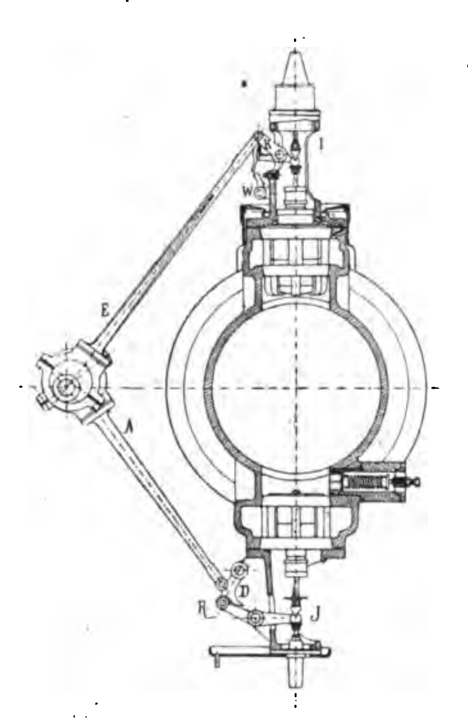


Fig 2. — Disposition des soupapes Collman de la machine MM. Biétrix, Leflaive, Nicolet et Cie.

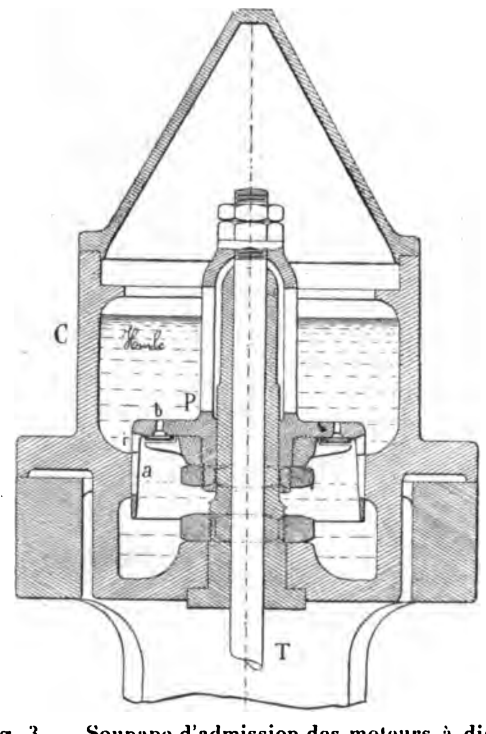


Fig. 3. — Soupape d'admission des moteurs à distribution Collman construits par MM. Biétrix, Leflaive, Nicolet et Cie.

Les diagrammes du mouvement des soupapes, relevés sur les machines Colmann, mettent bien en évidence les différentes phases du mouvement.

Nous avons reproduit dans la figure 5 un certain nombre de ces diagrammes obtenus pour différentes introductions. La fermeture de la soupape, d'abord très rapide de *m* en *n*,

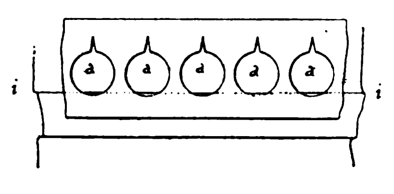


Fig. 4.

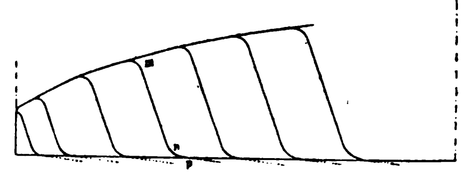


Fig. 5.

devient beaucoup plus lente dans la dernière période représentée par *np*; le croquis montre de plus que la portion *np* est la même, quelle que soit l'introduction; cela résulte de ce que la soupape Collmann utilise non pas une expansion ou une compression comme les soupapes à tampon d'air, mais bien l'écoulement d'un fluide incompressible.

Le régulateur à force centrifuge porte un levier à contre-poids avec cataracte d'huile pour l'amortissement des oscillations de cet appareil. Le régulateur agit seulement sur les soupapes d'admission; l'échappement étant réglable simplement à la main.

Les dimensions principales du moteur sont les suivantes :

Diamètre du cylindre à haute pression	37,5 cm
Diamètre du cylindre à basse pression	60 »
Course commune des pistons	75 »
Vitesse angulaire en tours par minute	130 »
Pression de la vapeur.	10 kg : cm²

A cette pression de 10 kg : cm², la puissance effective avec une introduction de $\frac{1}{12}$ est de 315 chevaux.

A l'Exposition, la vitesse a été réduite, pour la commande de la dynamo, à 110 tours seulement par minute.

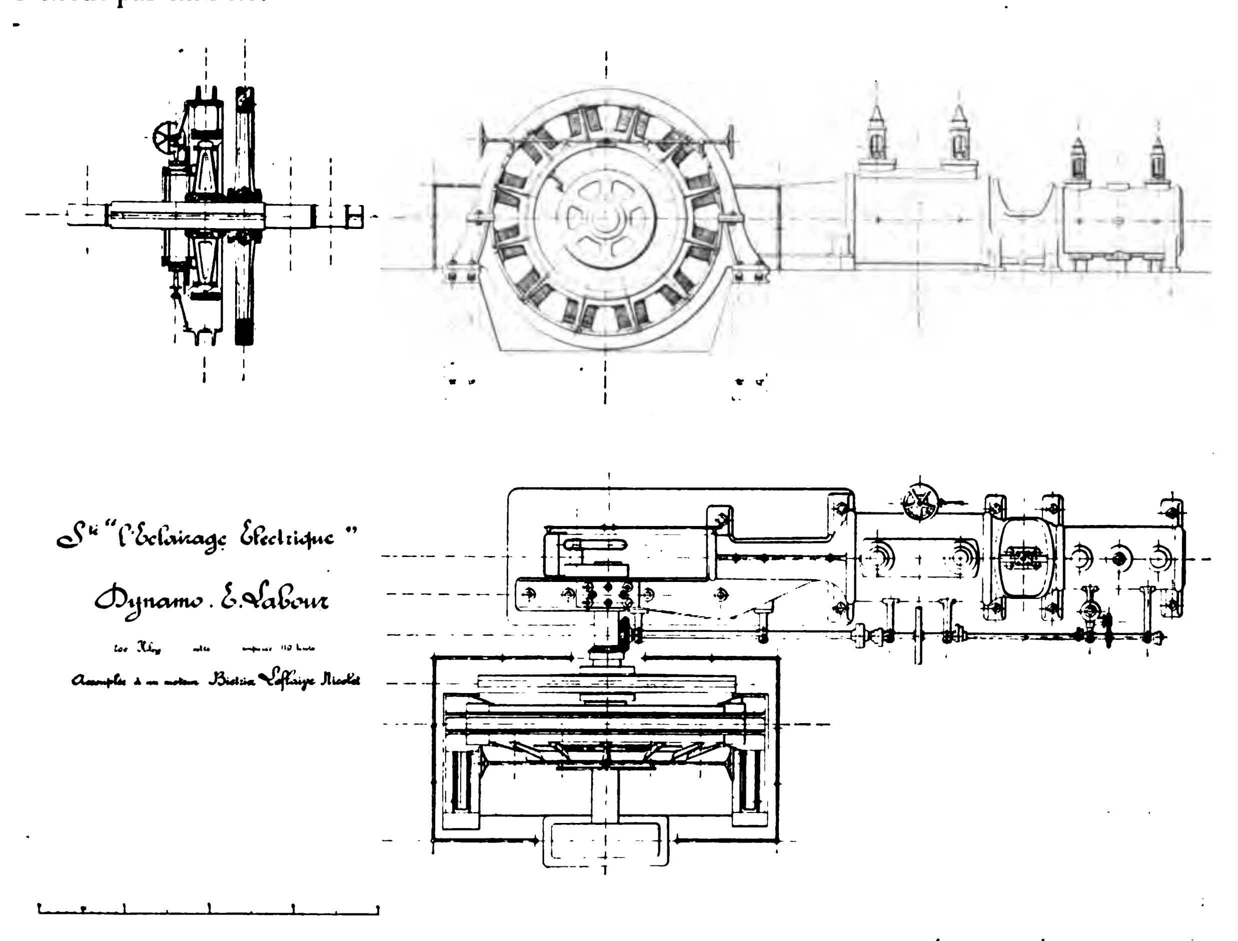


Fig. 6, 7 et 8. — Vues d'ensemble du groupe à courant continu de la Société l'Éclairage Électrique et de MM. Biétrix, Leflaive, Nicolet et Cie.

Dynamo. — La dynamo Labour à courant continu actionnée par le moteur Biétrix, Leflaive et Nicolet a une puissance de 200 kilowatts aux bornes, 870 ampères sous 230 volts.

La vitesse est de 110 tours par minute et le nombre de pôles de 12.

Les figures 6, 7 et 8 représentent des vues d'ensemble de ce groupe.

Induit. — Un même manchon en fonte (fig. 9) muni de canaux radiaux pour la ventilation supporte l'induit proprement dit et le collecteur.

L'induit est lisse, il est composé de segments en tôles isolées de 0,4 mm d'épaisseur. Les segments sont fixés à la lanterne de l'induit par un procédé identique à celui de l'alternateur, c'est-à-dire par des bras en bronze à section en forme de T sur les branches duquel s'appuient des projections ménagées sur les tôles.

Ce dispositif est montré sur la figure 10 qui est une coupe perpendiculaire à l'axe à grande échelle de la dynamo.

Le déplacement de l'enroulement induit, pouvant résulter des variations de vitesse aux points morts du moteur, est empêché par douze clavettes en fibre réparties également sur la surface de l'induit.

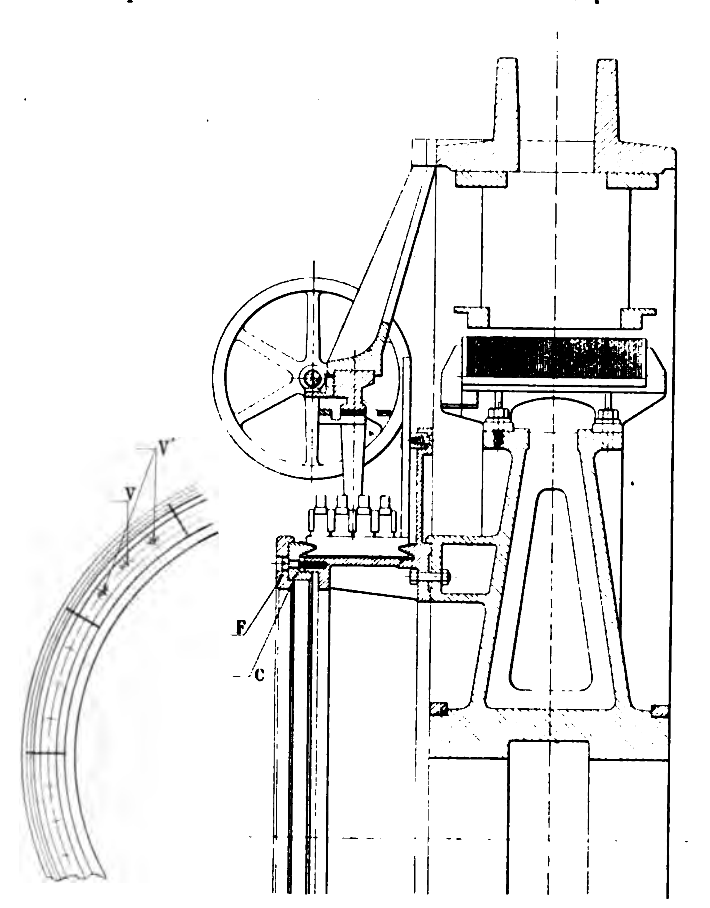


Fig. 9. — Coupe par l'axe d'une dynamo Labour de 200 kilowatts.

Le diamètre extérieur du noyau induit en une seule partie est de 200 cm et sa largeur de 35 cm.

L'induit est bobiné en anneau et l'enroulement est réparti en une seule couche. Cet enroulement est formé d'un câble de 21 mm² en fils assez fin pour réduire suffisamment les pertes par courants de Foucault dans le cuivre. Il y a 6 spires par section et 23 sections par pôle, soit 23 × 12 ou 276 sections.

Le collecteur, isolé au mica, a 276 lames serrées par groupe de 23 au moyen de 12 segments en acier formant une première frette. Une seconde frette en une seule pièce recouvre ces segments et permet ainsi de démontrer partiellement le collecteur.

L'induit est groupé en parallèle et le courant est recueilli par douze séries de balais en charbon à section rectangulaire appuyant normalement sur le collecteur. Une disposition spéciale, visible sur la figure 10 assure une pression convenable des charbons et leur bon contact avec leurs montures reliées alternativement sur deux cercles portant les prises de courant.

Les tiges de support des balais sont montées sur une couronne qui peut tourner légèrement autour de l'axe à l'aide d'une vis sans fin portant un volant à chacune de ses extrémités. Les balais peuvent en outre être déplacés séparément; l'ensemble du système porte-balais est fixé sur les inducteurs.

Le diamètre du collecteur est de 120 cm.

La résistance de l'induit entre balais est de 0,0096 ohm à chaud.

Le poids de l'induit bobiné est de 3900 kg, dont 365 kg pour le cuivre induit.

Inducteurs. — Les inducteurs sont en acier doux et profilés en vue d'obtenir une rigidité mécanique suffisante. Les noyaux sont fixés à la carcasse magnétique avec 4 boulons.

La couronne inductrice est en deux parties et chacune de ces parties se compose de six pièces séparées entre elles par un intervalle de quelques centimètres et assemblées seulement par deux des nervures, comme le montrent les figures.

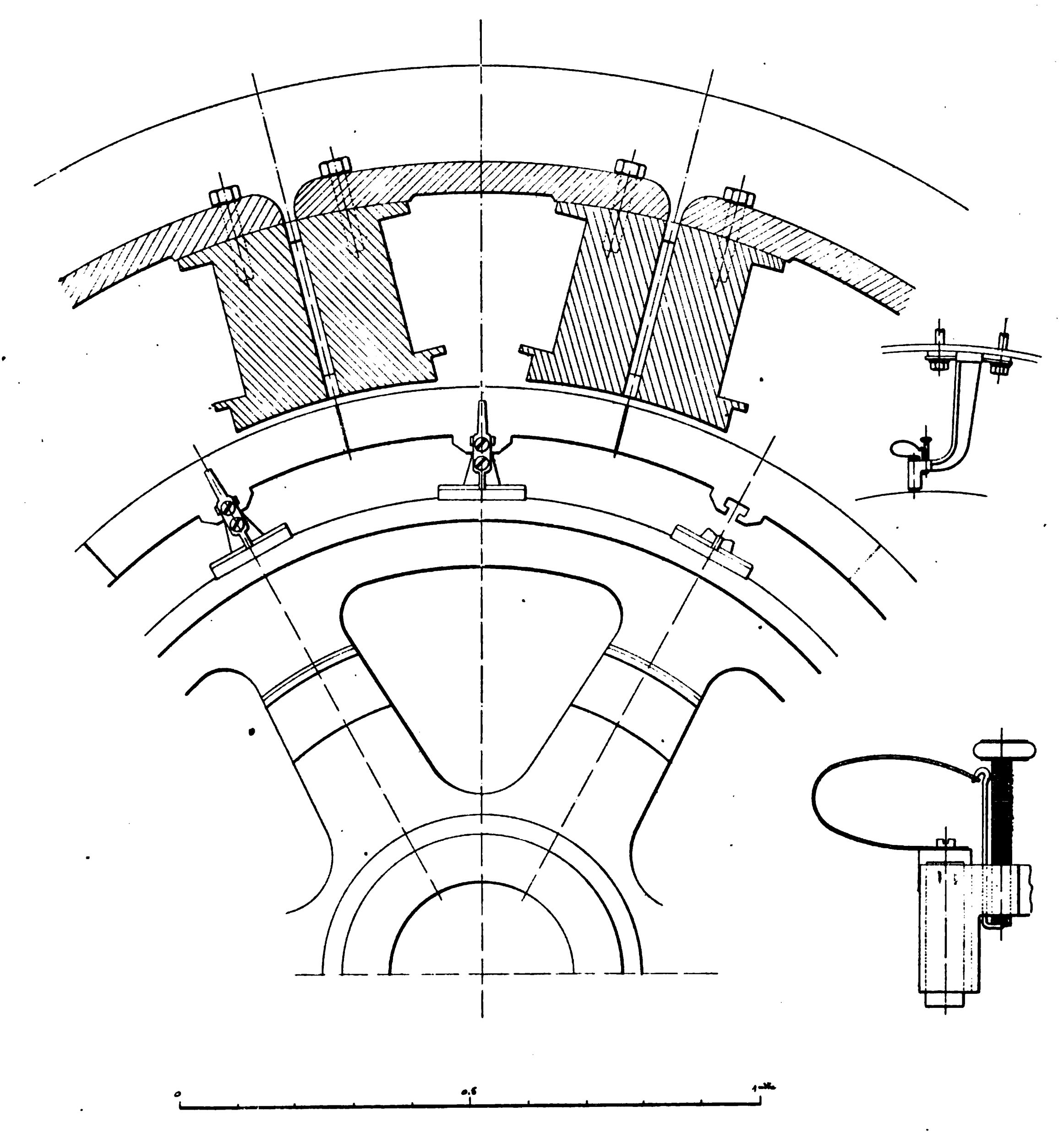


Fig. 10. — Coupe perpendiculaire à l'axe d'une dynamo Labour de 200 kilowatts montrant le dispositif de fixation de tôle de l'induit et les détails de construction du porte-balai.

Les intervalles ainsi ménagés dans la carcasse correspondent à des fentes radiales dans les noyaux polaires. Ce dispositif, breveté depuis plusieurs années par M. E. Labour a été décrit à cette époque dans *La Lumière Électrique* (1) ; il a pour but d'opposer une résistance

(1) Volume XLIX, page 301, 1893.

magnétique assez considérable au flux de réaction d'induit et par suite de diminuer celle-ci.

La couronne inductrice est fixée sur deux glissières. Un système de vis et de chaîne permet, au moyen d'un seul levier, de déplacer longitudinalement tout le système inducteur pour découvrir l'induit et le collecteur et y faire l'entretien ou les réparations qui pourraient être nécessaires, sans avoir recours à un appareil de levage et par suite sans démontage de la carcasse.

Les bobines inductrices sont enroulées sur des carcasses métalliques avec joues en matière isolante; l'une des joues porte les prises de courant de la bobine.

Toutes les bobines inductrices sont montées en série; la dynamo est excitée en dérivation.

Chaque électro porte 430 spires de fil de 4,5 mm de diamètre ; le poids du cuivre inducteur est de 811 kg, soit 67,5 kg par électro.

La résistance du circuit d'excitation est, à chaud, de 7,5 ohms.

Le diamètre d'alésage de l'inducteur est de 203,8 cm; l'entrefer est par suite de 19 mm. Le diamètre extérieur est de 308 cm.

La largeur des pièces polaires parallèlement à l'axe est de 35 cm; leur longueur perpendiculairement à l'axe est de 36 cm.

Le poids de l'inducteur avec bobinage est de 6 255 kg.

Résultats d'essais. — Nous reproduisons sur la figure 11 les caractéristiques à vide et en charge à tension constante de la dynamo Labour de 200 kilowatts.

L'excitation pour la marche à vide est de 26,5 ampères, en pleine charge cette excitation monte à 32 ampères ; la chute de tension ou le coefficient d'autorégulation est de 6 p. 100.

La dynamo a été étudiée pour avoir la même élasticité de puissance que le moteur à vapeur. La surélévation de température des différentes parties n'atteint pas 30° d'augmentation en régime permanent.

La surcharge que peut supporter cette machine est donc assez grande ; cette surcharge peut facilement être obtenue sans produire d'étincelles nuisibles au collecteur.

Le rendement de la dynamo en charge normale est de 92 p. 100, les pertes se décomposent ainsi :

Pertes par effet Joule dans l'induit	7 000 watts
— — dans l'inducteur (avec rhéostat).	8 100 »
Pertes par hystérésis frottement et courants de Foucault	2 270 »

Le poids total du cuivre étant 1 176 kg, l'utilisation du cuivre correspond donc à 170 watts par kg, ou 5,88 kg de cuivre par kilowatt.

J. Reyval.

L'USINE D'ENGINS

DESCRIPTION GÉNÉRALE. — ESSAIS DU MATÉRIEL

L'usine électrique d'Engins n'est pas assurément comparable comme importance à celles de Jonage ou de Rheinfelden que nous avons eu l'occasion d'étudier précédemment [1]. Elle nous a paru néanmoins mériter une description spéciale. Elle se signale, en effet, par certaines particularités intéressantes.

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 193; t. VIII, p. 241 et 296; t. XI, p. 390; t. XXI, p. 441.



En raison de la grande distance qui sépare l'usine du centre de consommation (près de 40 km) on a dû adopter une tension relativement élevée (15 000 volts) dont l'emploi n'a d'ailleurs présenté, en pratique, aucune difficulté d'exploitation.

Fig. 1. — Vue extérieure de l'usine d'Engins.

À l'encontre de ce que nous avons trop souvent à constater, le matériel est exclusivement « français », ce qui fait le plus grand honneur au propriétaire de l'usine, M. le baron du Marais [1].

---

[1] La fourniture et l'installation du matériel électrique de l'usine génératrice, de la ligne, des transformateurs .....



Les essais très sérieux, que nous résumons ci-après, établissent d'ailleurs que ce matériel peut, avec avantage, être comparé à tout ce que l'étranger sait nous imposer, soit par voie d'importation directe, soit encore, par les traités habiles qui lient la plupart de nos grandes maisons de construction et les obligent à payer des redevances sur des brevets trop souvent imaginaires.

I. — Situation et puissance de la chute d'eau.

Situation. — La chute d'eau de la Société des Forces Motrices de Grenoble est située sur le Furon, affluent de la rive gauche de l'Isère (voir le plan des pages 28 et 29). Le Furon est formé par deux branches principales : la plus importante, le Bruyant (représentant de 3/5 à 2/3 du débit total), reçoit les eaux d'une partie du plateau de Saint-Nizier, il jaillit d'un griffon dans un vallon très encaissé qui entaille profondément le plateau de Saint-Nizier. L'autre branche, le Furon proprement dit, prend sa source dans le plateau de Lans en un point très voisin des sources de la Bourne qui a son écoulement dans la direction du Pont-en-Royans. Les deux rivières, Furon et Bourne, semblent provenir des mêmes couches aquifères.



Fig. 2. — Salle des turbines.

La chute utilisée par la Société des Forces Motrices commence au moulin Arnaud, au-dessous du village d'Engins, à environ 2 km en aval du confluent du Bruyant et du Furon proprement dit. L'usine a été établie à environ 4 km du bourg de Sassenage (distance comptée sur la vieille route de Villard-de-Lans).

Hauteur de chute. — La hauteur de chute utile est de 282 m ; c'est la différence de niveau entre l'origine de la canalisation et le collecteur de l'usine.

Débit. — Le régime du Furon est très nettement torrentiel. Au commencement du printemps il présente d'abord une période de très fortes eaux. Le débit du 10 mars au 10 juillet ne tombe pas au-dessous de 400 litres, et il est en moyenne au-dessus de 600. Du 10 juillet au 10 septembre, le débit diminue graduellement de 400 litres à 150, avec quelques crues momentanées et relativement faibles correspondant aux orages qui se produisent

---

et des moteurs synchrones ont été faites par la société « l'Eclairage Electrique » de Paris ; les moteurs asynchrones et leurs transformateurs ont été fournis et posés par la maison Grammont de Pont-Chéruy (Isère).

habituellement en cette saison. Si l'été est sec, on a du 10 septembre aux premiers jours d'octobre le débit minimum d'environ 150 litres. Ordinairement les pluies d'automne arrivent entre le 5 et le 15 octobre et relèvent rapidement la courbe des débits. On peut compter, du 20 octobre au 20 décembre sur un débit de 275 litres qui va même ordinairement à 350. Du 20 décembre à la fin de février on a une période de débit relativement bas : le Furon donne en général 250 litres, sauf pendant une période de froid vif dont l'époque

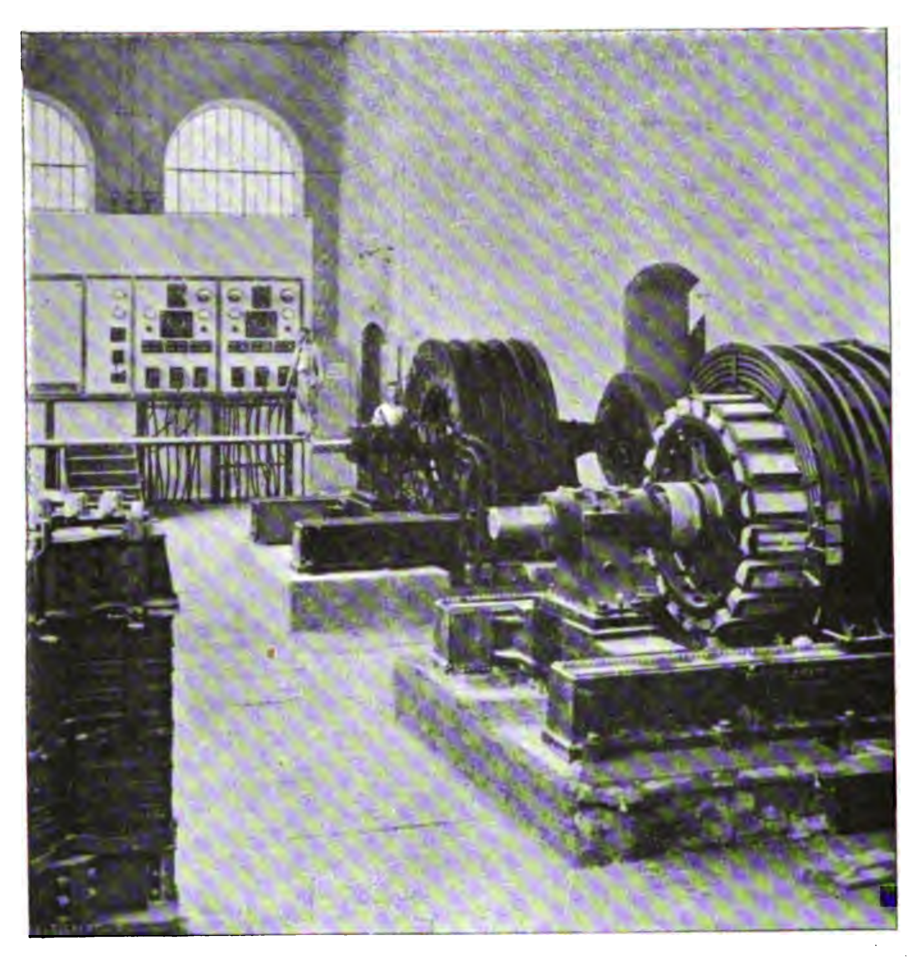


Fig. 3. — Salle des alternateurs triphasés (E. Labour).

et la durée sont un peu incertaines ; on doit compter que pendant 15 jours environ de forte gelée, généralement en février, le Furon peut descendre à 200 litres environ. Quand l'hiver est doux, ce minimum n'existe pas. En tout cas, dans cette période de décembre à fin février, les basses eaux sont courtes ; il est rare que les fortes gelées durent 15 jours consécutifs et au premier dégel, le Furon grossit considérablement.

La disposition des lieux, très spéciale et très intéressante permet heureusement de créer à la prise d'eau un réservoir de 6000 m³ pouvant être porté facilement à 10000 m³. A l'aval de l'usine on pourrait également établir un autre réservoir compensateur per- de retenir le même cube d'eau. On a sacrifié, pour pouvoir créer ces réser amont qu'en aval, une quinzaine de mètres de chute, mais ainsi, on po ganiser l'eau à certaines heures de la journée dans le réservoir supérieur pen


St Joseph
la Buisse
les Eymins
Pommiers
Sarcenas
Chassolle

GRENOBLE

Extrait de la carte d'État-major, publiée par les soins du Ministère de la Guerre.

réservoir inférieur fournira l'eau nécessaire aux industriels qui ont leurs usines sur le Furon en aval de celle de la Société. Cette disposition très utile déjà quand on doit fournir la force à des usines ne marchant que 10 à 12 heures sur 24, serait encore bien plus précieuse si l'on devait faire surtout de l'éclairage et par conséquent n'avoir de gros débits que pendant 5 heures par jour environ. Remarquons en passant que, contrairement aux cours d'eau du bassin de la Romanche et du bassin supérieur de l'Isère, le Furon a beaucoup plus d'eau en hiver qu'en été, et il serait donc très naturel de faire à Engins surtout de l'éclairage.



Fig. 4. — Salle des transformateurs triphasés à 15 000 volts (E. Labour).

L'exécution de ces projets de réservoirs à la prise d'eau et au-dessous de l'usine a dû être ajournée, en attendant les autorisations administratives.

II. — Description de l'installation de l'usine d'Engins.

Prise d'eau. — La prise d'eau n'a qu'un caractère provisoire. L'installation complète comportera :

1° Un barrage donnant une retenue d'eau de 4 000 m³ qui sera porté plus tard à 8 000.

2° A la suite, et reliée au barrage par un canal, une chambre d'eau avec digue en terre de 2 m de hauteur formant une retenue de 2 000 m³ environ. Cette chambre d'eau limitera la charge à 2 m d'eau à l'origine de la conduite.

Actuellement le barrage n'existe pas encore ; on utilise l'ancien canal d'amenée d'eau d'un moulin pour conduire l'eau à la chambre d'eau. La digue devant former cette chambre d'eau n'est, elle-même, construite qu'en partie, et l'origine de la conduite n'est chargée que de 0,50 m d'eau.

Canalisation. — La canalisation qui a une longueur de 3 200 m environ, comprend deux parties : la première à faible pente (2 1/2 p. 100) a 2 000 m de longueur. Elle est en béton de ciment, le diamètre intérieur est de 0,80 m, l'épaisseur varie de 10 à 20 cm. Il faut reconnaître qu'il est bien regrettable qu'on n'ait pas employé le ciment armé.

La canalisation est enfouie sous une épaisseur de 0,60 m de terre. On a placé deux cheminées dont l'une à l'extrémité aval de la canalisation en ciment ; ces cheminées ont pour but d'amortir les coups de béliers qui se produisent lorsqu'on ouvre ou ferme trop brusquement les vannes des turbines à l'usine.

La seconde partie de la canalisation, à forte pente, a une longueur d'environ 1 200 m. Elle est en tôle d'acier. Elle a été fournie et installée par MM. Bouchayer et Viallet de Grenoble. Le diamètre intérieur est de 0,60 m, l'épaisseur varie suivant la pression de 4 à

14 mm. Elle est composée de tuyaux de 6,50 m de long. Chaque tuyau est formé de 5 longueurs de tôle qui sont assemblées longitudinalement et transversalement par des rivures simples ou doubles suivant pression. Les tuyaux terminés à leurs extrémités par des cornières sont reliés entre eux par des boulons. Des joints en plomb écrasés par le serrage des boulons assurent l'étanchéité. Les tuyaux sont placés dans une tranchée faite dans le rocher; ils sont appuyés dans les pentes modérées sur des massifs de maçonnerie. Dans les pentes accentuées ils portent des colliers fixés à des amarrages à articulations disposées de manière à soutenir la conduite sans s'opposer aux dilatations. La canalisation en tôle, comme la canalisation en ciment a été recouverte de terre pour la protéger contre la chute possible de blocs de pierres.

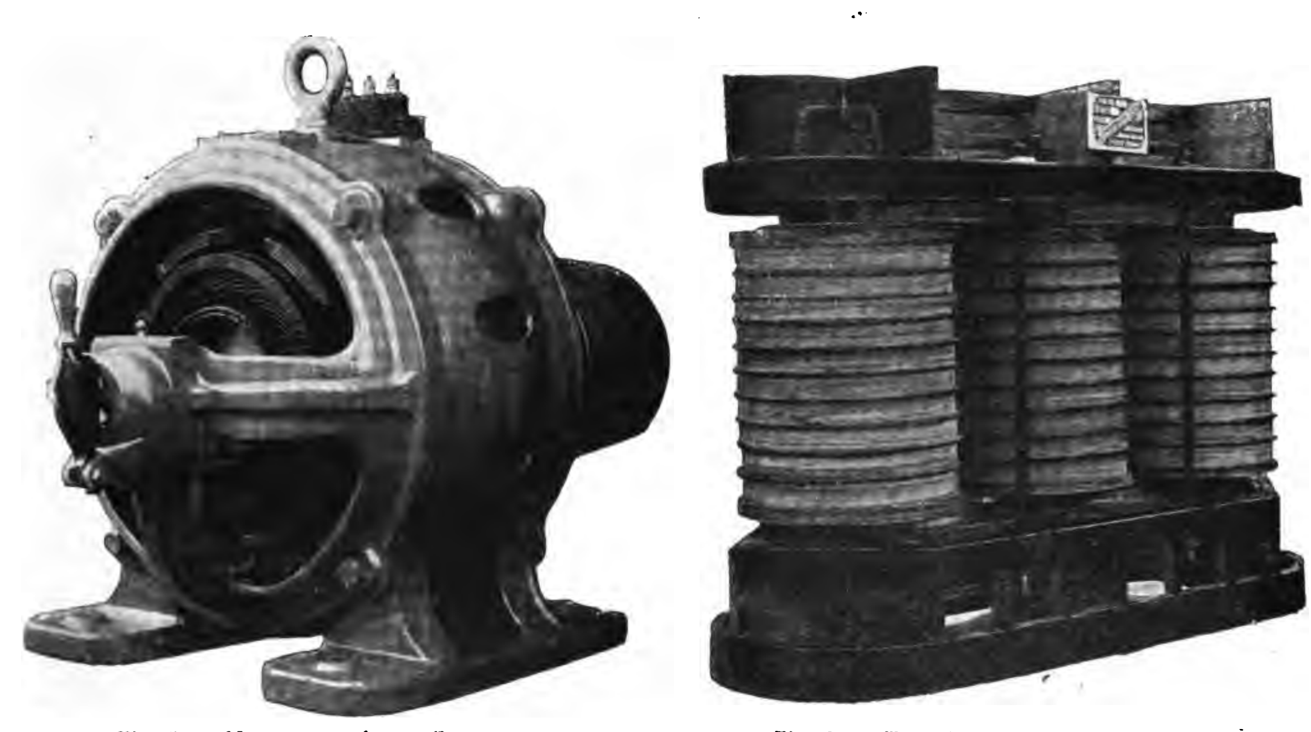


Fig. 5. — Moteur asynchrone Grammont. Fig. 6. — Transformateur Grammont.

Usine. — L'usine (fig. 1) est reliée à la vielle route de Villard-de-Lans par un bon chemin à 7 p. 100 de pente au maximum créé par la Société.

L'usine occupe un grand rectangle de 33,65 m sur 15,70 m dont l'axe est à peu près perpendiculaire au cours du Furon. Elle est divisée par un mur longitudinal en deux parties : l'une (fig. 2), du côté de l'aval du Furon, de 28 m sur 5,50 m, contient actuellement deux turbines de 650 chevaux montées sur des arbres horizontaux accouplés bout à bout aux arbres des dynamos. Ces turbines, construites par la maison Bouvier frères, de Grenoble, sont centrifuges, et portent sur leurs arbres des volants en fonte avec frette d'acier du poids de 2 500 kg.

Dans la salle voisine (fig. 3), de 18 m sur 8, largement éclairée par quatre grandes fenêtres, se trouvent les alternateurs accouplés directement avec les turbines, dont les axes traversent le mur de séparation, à l'aide de manchons à blocs de caoutchouc. Les alternateurs, E. Labour, construits par la Société l'Éclairage Électrique de Paris, sont de 350 kilovoltampères par unité. L'énergie électrique est livrée sous forme de courants

triphasés à un voltage qui varie entre 115 et 125 volts, suivant la charge. Une seule excitatrice commandée par une petite turbine indépendante suffit à fournir le courant d'excitation à deux alternateurs.

L'usine a été prévue pour une troisième unité de 350 kilowatts. On pourrait, si le besoin s'en faisait plus tard sentir, agrandir l'usine et y placer une quatrième unité. Le tableau portant les appareils de contrôle et de manœuvres est disposé sur le petit côté du rectangle le plus rapproché du Furon. Du même côté, et séparé seulement de la salle des dynamos par un petit mur n'occupant pas toute la hauteur du hall, se trouve la salle (fig. 4) des transformateurs (de 8 m sur 4,20 m) prévue pour contenir huit transformateurs de 175 kilowatts. Ces transformateurs, du type E. Labour, sont enfermés dans une cuve remplie de paraffine et munie d'ailettes pour faciliter le refroidissement. Ces appareils, qui ont un coefficient de transformation à vide de 116 fournissent à la haute tension de 12 000 à 15 000 volts (tension composée).

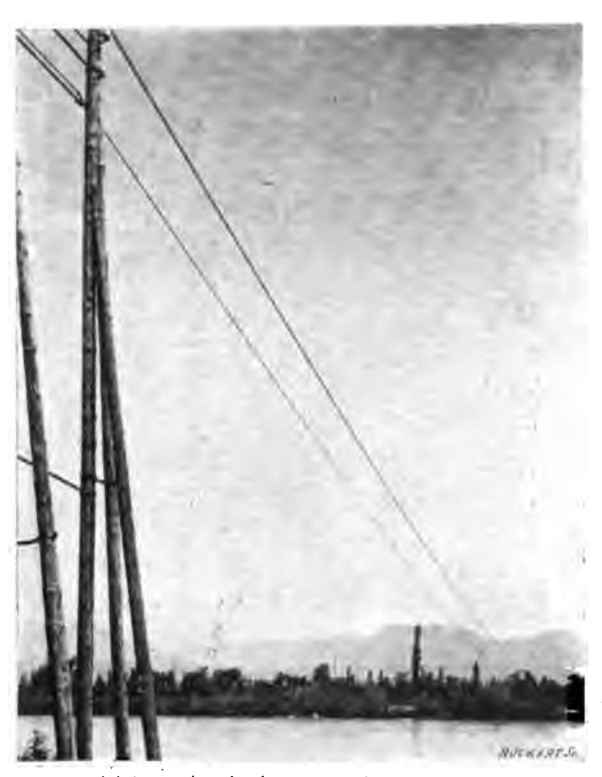


Fig. 7. — Traversée de l'Isère.

Les deux salles des dynamos et des transformateurs sont desservies par le même pont roulant.

Dans le prolongement de la salle des turbines on a disposé un petit atelier de 5,50 m sur 3,70 m contenant une forge, un établi et une machine à percer. On y fait les réparations courantes de l'usine. Au-dessus de l'atelier se trouve un magasin où l'on a disposé un stock des objets dont on a le plus habituellement besoin.

III. — Réseau de distribution d'énergie.

Disposition des lignes du réseau. — La ligne de transport d'énergie présente à Sassenage, une bifurcation : l'une des branches se dirige vers Grenoble, et l'autre, la plus importante se dirige du côté de Voiron.

Les isolateurs sont à triple cloche et montés soit sur des poteaux de bois soit, en certains points particuliers sur des consoles métalliques. Ils ont été tous essayés dans le laboratoire de la Société l'Éclairage Électrique à une tension double de celle de la ligne.

Les poteaux en bois de sapin ont 12 m de haut et 13 à 15 cm de diamètre au sommet. Ils ont été plongés dans un bain de carbonyle. La distance de poteau à poteau est de 40 m en ligne droite, moindre en courbe. Les poteaux qui se trouvent dans les courbes sont renforcés par des contrefiches ou retenus par des haubans.

La ligne a, suivant sa charge, un voltage au départ de 12 000 à 15 000 volts ; ce voltage est réduit à l'arrivée chez l'abonné à l'aide de transformateurs dont le coefficient de transformation est de 0,01. Les transformateurs appartiennent à la Société, les moteurs aux

abonnés. Les petits moteurs sont asynchrones, les gros sont obligatoirement synchrones. Cette disposition a pour avantage de diminuer le décalage, par suite à égalité de section de câble, de voltage au départ et d'énergie transportée, de diminuer la perte en ligne.

De l'usine à Sassenages les conducteurs ont une section de 40 mm².

La branche qui se dirige sur Grenoble suit la route départementale du côté sud, traverse le hameau de Saveuil et vient traverser le Drac en aval du cours Berriat.

La section des câbles sur cette branche est de 20 mm², sauf la traversée du Drac qui est en 40 mm². De la branche principale de 4 800 m environ, se détachent plusieurs rameaux :

1° Une dérivation de 400 m environ, de 10 mm² de section, va aux usines à chaux de la Trefforine, et y fait tourner un moteur asynchrone fourni par la maison Grammont de Pont-de-Chéruy, Isère, (fig. 5) de 10 chevaux. La puissance du transformateur est de 10 kilowatts. On installera prochainement sur cette même branche un moteur de 15 chevaux pour actionner la scierie de la Trefforine.

2° Une autre dérivation va jusqu'au village de Fontaine ; elle est destinée à l'éclairage du village. Mais les installations ne sont pas terminées.

3° Une troisième dérivation se dirige vers le sud après le passage de l'Isère et aboutit à un transformateur de 50 kilowatts qui alimente, chez plusieurs industriels, des moteurs de la maison Grammont, dont la puissance varie de 10 à 20 chevaux.



Fig. 8. — Traversée de la route de Voiron.

4° Une dérivation alimente un transformateur de 20 kilowatts destiné à l'éclairage d'un groupe de maisons situé rue Diderot et aussi à faire mouvoir de petits ateliers dont on prévoit la construction dans cette même rue.

5° Une cinquième dérivation suit le canal Fontenay et aboutit au moulin situé sur ce même canal. On place actuellement un transformateur (fig. 6) de 20 kilowatts et un moteur de 17 chevaux (fournis par la maison Grammont).

La branche de Voiron, est semblable à la précédente, mais les poteaux au lieu d'avoir été plongés dans un bain de carbonyle, ont été sulfatés; ses fils ont une section de 30 mm². Elle suit au nord la route départementale, traverse l'Isère (fig. 7) au bec de l'Echaillon, puis vient à Voiron par les Iles de Moirans, Moirans, Saint-Jean-de-Moirans et Paviot (fig. 8 et 9). Elle a, jusqu'au viaduc du chemin de fer, près de 22 kilomètres. Elle traverse

quatre fois les lignes de chemin de fer, et en chaque point de passage des précautions spéciales ont été exigées : on a dû construire pour le passage des fils de véritabtes passerelles métalliques (fig. 10).

Fig. 9. — Traversée de Voiron.

Cette branche comporte les dérivations suivantes :

1° Elle dessert les papeteries Lafuma et Berthollet par deux dérivations allant l'une à l'usine de Paviot où sont deux transformateurs de 50 kilowatts et deux moteurs synchrones Labour de 50 chevaux; l'autre à l'usine de Wesseling où est un transformateur de 100 kilowatts (fig. 11) et un moteur Labour de 100 chevaux (fig. 12), fournis par la Société

l'Éclairage Électrique. La Société des Forces motrices fournit à l'une ou l'autre des deux usines une puissance de 160 chevaux qui sera certainement et avant peu considéralement augmentée. La force motrice louée aux usines Lafuma et Berthollet doit être fournie pendant vingt-quatre heures. Toutes les autres locations faites jusqu'à présent ne sont que pour dix ou onze heures.

2° Une autre dérivation dessert les usines de tissage de Guillaume. Un transformateur de 100 kilowatts fournit le courant à basse tension à un moteur synchrone de 50 chevaux

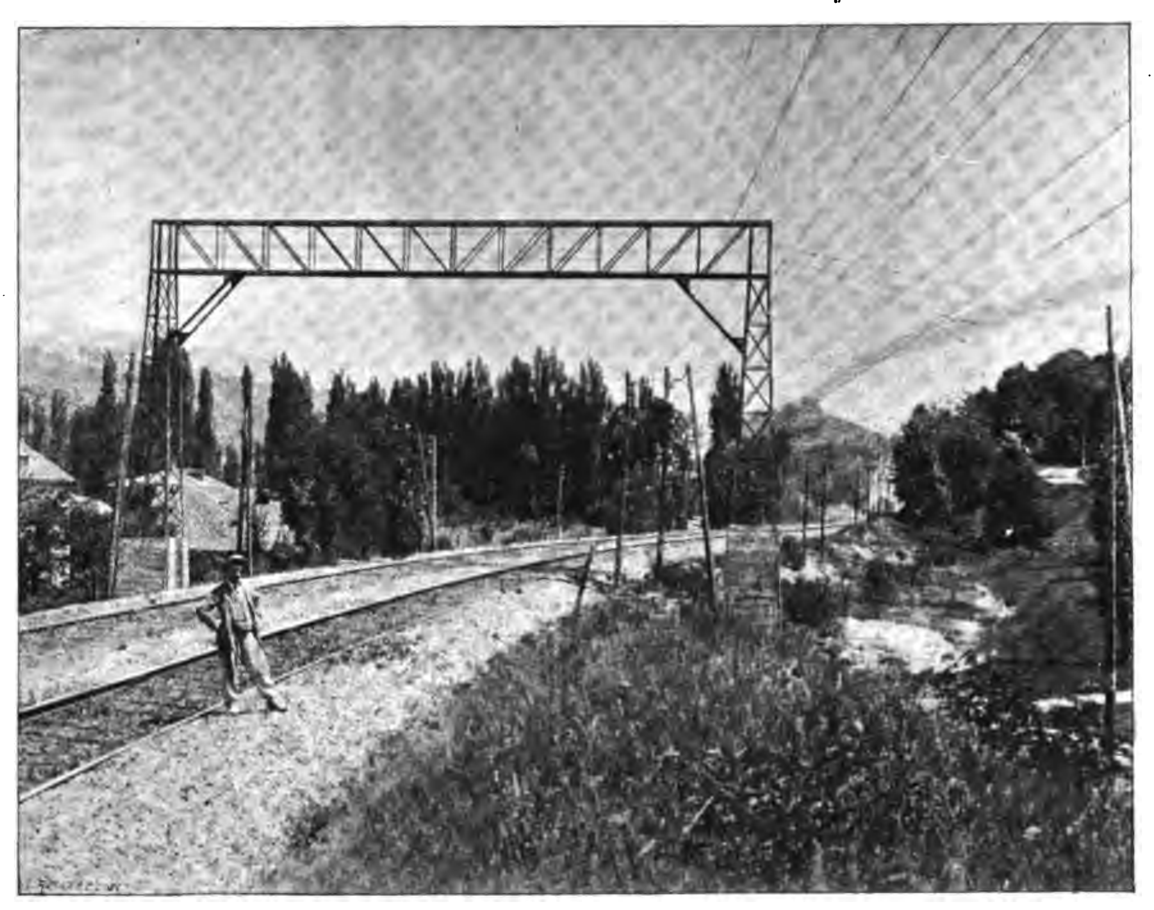


Fig. 10. — Traversée du chemin de fer.

(Labour). Le transformateur a été choisi très puissant parce qu'on prévoit une augmentation très considérable de l'installation.

3° Un petit transformateur de 5 kilowatts alimente un moteur de deux chevaux Grammont dans la fabrique de registre Lebon et Vernay.

4° Un transformateur de 15 kilowatts alimente divers petits moteurs Grammont dans Voiron, dont la puissance varie de 3 à 1 cheval.

5° Sur le chemin de Coublevie on a installé un transformateur de 5 kilowatts alimentant un moteur de 3 chevaux Grammont.

6° Enfin on continue actuellement la ligne électrique dans la direction de Coublevie, petit village au-delà de Voiron où la Société a une concession d'éclairage.

En résumé, à l'heure actuelle, la Société a loué 160 chevaux de 24 heures à la maison Lafuma et Berthollet, et 138 chevaux de 10 ou 11 heures à divers clients.



IV. — Résultat des essais.

Les essais suivants se rapportent au matériel électrique E. Labour fourni par la Société « l'Éclairage Électrique ». Ils ont été effectués avec le concours de mon camarade et ami, M. Mauduit, ingénieur de la Société l'Éclairage Électrique.

Fig. 11. — Transformateur triphasé Labour.

Je présenterai d'abord les feuilles d'étalonnage et l'ensemble des mesures relevées. Je commenterai ensuite les résultats obtenus dans nos conclusions.

Je donnerai également les divers graphiques qui se rapportent à nos essais.

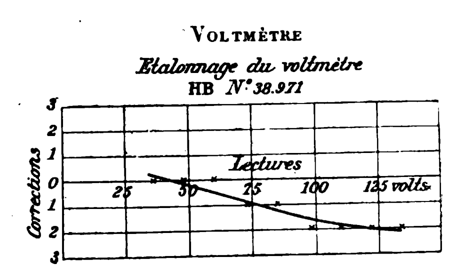


Étalonnage des appareil des mesures. — Ces appareils comprenaient deux voltmètres, deux ampèremètres Hartmann et Braun et deux tachymètres.



Fig. 12. — Moteur synchrone triphasé Labour de 100 chevaux

Les résultats des essais des voltmètres et de l'un des ampèremètres sont indiqués dans les tableaux et courbes ci-dessous.



Etalon	Voltmètre H et B n° 38971	Voltmètre excit. n° 1817,2
12	»	12
24	»	24
36	36	36
48	48	48
60	60	60
72	73	72
84	85	84
96	98	97
108	110	109
120	122	120
132	134	132
144	144,5	142
155	»	154
166	»	165
186	»	187

Ampèremètre

Etalonnage de l'ampèremètre d'excitation (Lectures ascendantes)

Corrections

Lectures

25 50 75 100 125 ampères

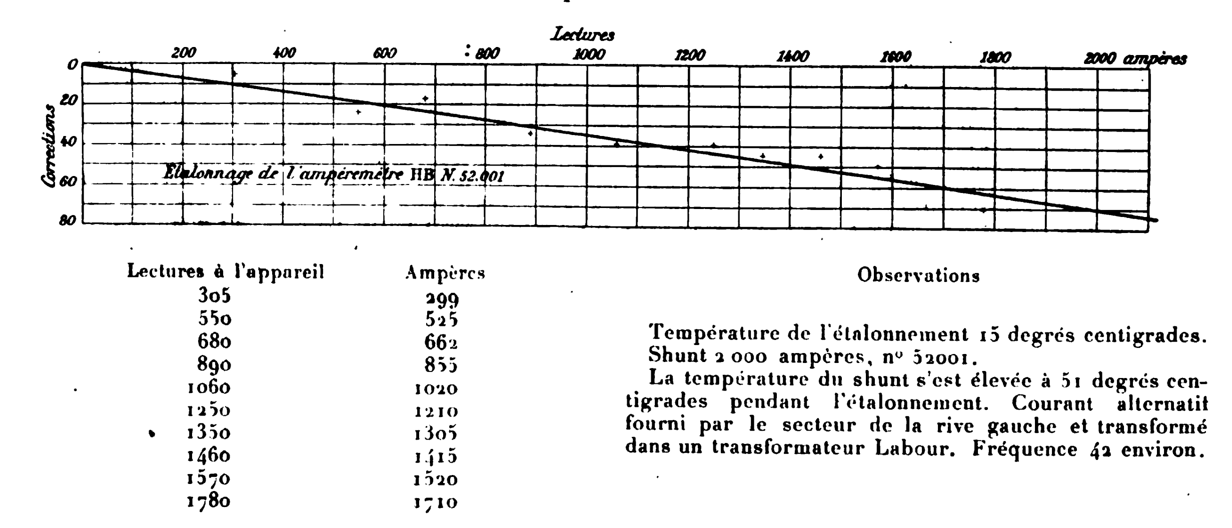
Étalon	Ampèremètre n° 1992,2 lect. ascendantes	Ampèremètre n° 1992,2 lect. descendantes
19	20	21
38	38	38
56	55	56
73	72,5	73
90	89	90
108	105	106
126	123	123

Cet ampèremètre après la rupture du courant ne revient pas exactement au 0, mais s'arrête à 2 ampères.

Cependant au bout d'une demi-heure environ, l'aiguille reprend sa position normale.

Remarque. — Les lectures ont été « ascendantes » dans la détermination des caractéristiques.

L'ampèremètre thermique Hartmann et Braun, n° 52 001, gradué de 0 à 2 000 ampères, a été étalonné au Laboratoire central d'électricité le 1er décembre 1899. Les résultats obtenus et la courbe de correction correspondante sont donnés ci-des-sous :



Lectures à l'appareil	Ampères
305	299
550	525
680	662
890	855
1060	1020
1250	1210
1350	1305
1460	1415
1570	1520
1780	1710

Observations

Température de l'étalonnement 15 degrés centigrades. Shunt 2 000 ampères, n° 52001.
La température du shunt s'est élevée à 51 degrés centigrades pendant l'étalonnement. Courant alternatif fourni par le secteur de la rive gauche et transformé dans un transformateur Labour. Fréquence 42 environ.

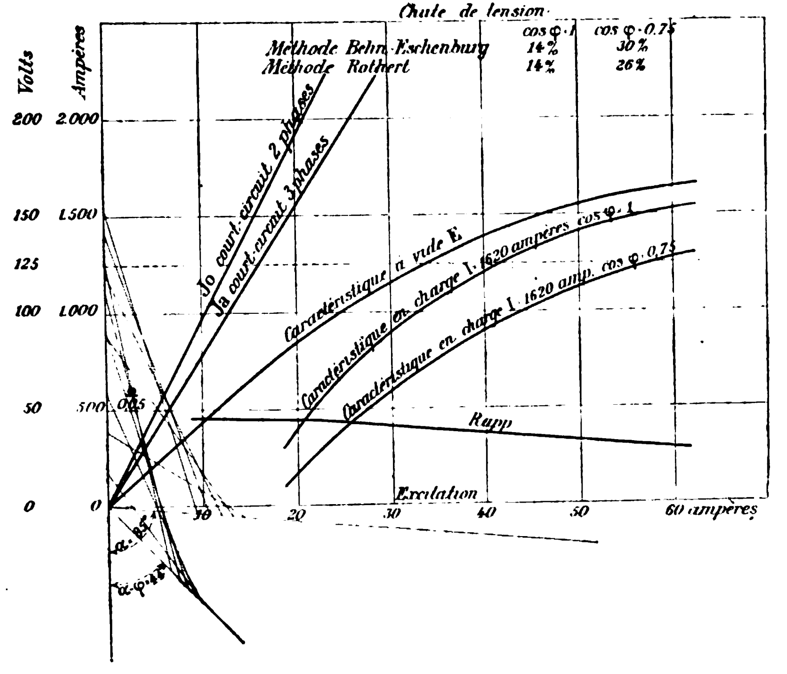
L'étalonnage du tachymètre de l'alternateur et du tachymètre de la turbine a donné :

TACHYMÈTRE DE L'ALTERNATEUR

Lectures à l'appareil	Nombre de tours	Coefficient
203	196	0,964
257	248	0,964
272	262	0,964
292	280	0,96
304	294	0.965
309	300	0,97
337	330	0,98

TACHYMÈTRE DE LA TURBINE

Lectures à l'appareil	nombre de tours	Coefficient
162	192	1,2
189	224	1,19
224	266	1,19
260	312	1,2



Caractéristiques. — On a pris les caractéristiques à circuit ouvert, en court-circuit sur deux phases et en court-circuit sur trois phases; les résultats des mesures et les courbes correspondantes sont donnés ci-contre.

CARACTÉRISTIQUE EN COURT-CIRCUIT SUR DEUX PHASES

Ampères

Alternateur		Excitation	
lus	corrigés	lus	corrigés
440	424	9	7,5
940	907	12	10,6
1250	1207	14,5	13,2
1510	1458	16,5	15,5
1750	1689	18	16,9
2000	1930	20,5	19,5



CARACTÉRISTIQUE A CIRCUIT OUVERT

Nombre de tours		Ampères excitation		Volts	
lus	corrigés	lus	corrigés	lus	corrigés
310	300	19	17,9	77,5	76,5
»	»	20	19	81,5	80,4
»	»	22,8	21,9	91	89,6
»	»	25,5	24,7	101,5	99,8
»	»	28,5	27,9	112	110,2
»	»	32,5	32,1	124	122
»	»	36	35,7	135	133
»	»	38,5	38,3	139	136,8
»	»	43	43	148	145,6

CARACTÉRISTIQUE EN COURT-CIRCUIT SUR TROIS PHASES

Ampères			
Alternateur		Excitation	
lus	corrigés	lus	corrigés
500	482	9,5	8
920	888	14	12,8
1150	1110	16	14,9
1360	1312	18	16,9
1625	1568	21	20,1
1950	1882	24,5	32,7

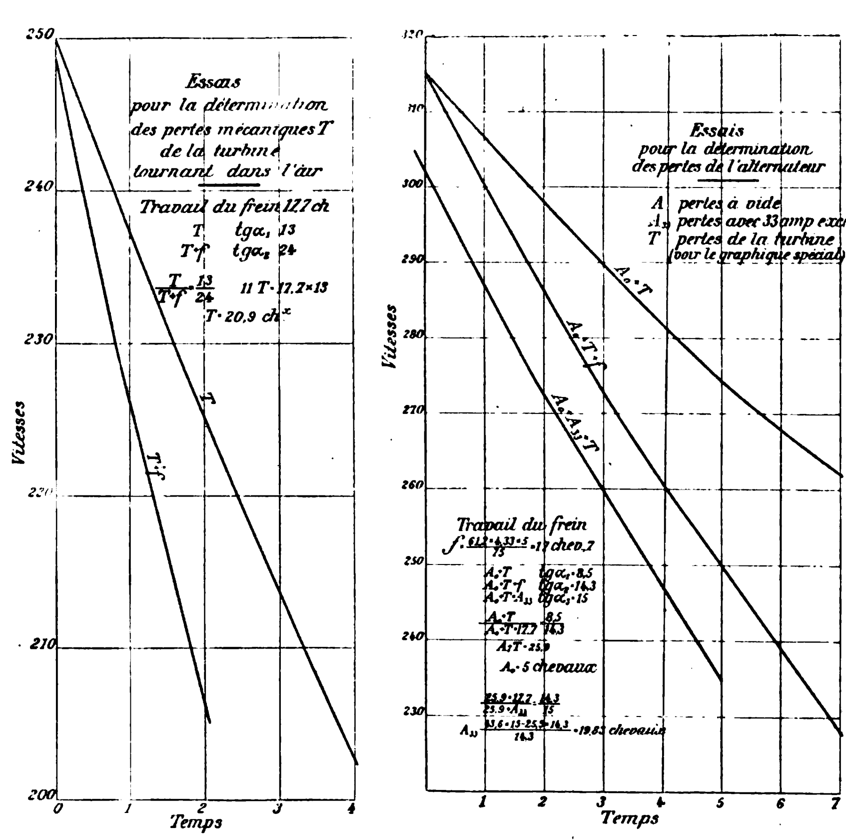
Mesure du rendement des alternateurs. — J'ai employé la méthode cinématique que j'ai imaginée en 1896 et décrite à cette époque dans ce journal.

Pertes de l'alternateur.— Les résultats des essais et les courbes correspondantes sont données ci-dessous.

Décroissance de la vitesse. —1° Pertes mécaniques, turbine et alternateur à vide ($A_0 + T$).

Lectures au tachymètre à quinze secondes d'intervalle 315 — 307 — 298 — 289 — 282 — 274 — 268 — 262 — 256 — 248 — 243 — 235.

2° Pertes mécaniques, turbine et alternateur excité à 3 ampères ($A_0 + A_{33} + T$).



Mise en charge.

302 — 286 — 273 — 260 — 247 — 235 — 224 — 213 — 202 — 193.

3° Pertes mécaniques, turbine, alternateur à vide et frein de 61,200 kg, diamètre de la poulie 1,38 m ($A_0 + T + f$).

315 — 300 — 286 — 274 — 263 — 250 — 239 — 227.

Détermination de la perte correspondant à la marche de la turbine dans l'air T.

(Lectures de 30 en 30 secondes.)

1° Turbine seule T;

250 — 237 — 225 — 213 — 203 — 194.

2° Turbine et frein (comme précédemment 17,7 chevaux) $T + f$.

249 — 226 — 206 — 188 — 70.

Volts : 129 soit 126,9 vrais.

Ampères : 800 soit 772 vrais.

Lame déversante 12 cm (dont 0,6 pour l'excitatrice).

Ouverture 0,475.

Rhéostats :

17 mètres de tôle 9 cm × 0,05

13,5 » » 4,5 × 0,05.

Consommation des transformateurs à vide.

Phase 1, lectures au wattmètre.

	120 volts,	36 degrés	4100 watts.
	130 »	39 »	4430 »
Phase 2.			
	120 volts,	34 degrés,	3875 watts.

Moyenne à 120 volts : 3987 wats.

Rendements des moteurs Labour. — Ces rendements sont donnés par les courbes des deux figures suivantes, tracées d'après les chiffres indiqués.

MOTEUR SYNCHRONE DE 50 CHEVAUX

MOTEUR SYNCHRONE DE 50 CHEVAUX

Courbes en V pour différentes charges

Ampères excitation	Ampères moteur	lectures au wattmètre
4,25	106	118
4,4	98	118
5,2	105	119
6,85	131	120
7	133	120
8	160	122
5,1	190	119
5,8	173	118
6,9	200	120
4,7	210	117
5,8	202	118
7,2	210	120

Consommation à vide

Ampères excitation	Lectures au wattmètre	watts
2,8	25	2845
3,18	26	2960
4,65	29	3300
5,75	31	3530
6,45	33	3760
7,35	38	4330

MOTEUR SYNCHRONE DE 100 CHEVAUX

Consommation à vide

Ampères excitation	Lectures au wattmètre	watts
4,15	50	5700
5,4	50	5700
6,25	50	5700
7	50	5700

V. — Analyse des résultats et conclusions.

Étalonnages. — Pour déterminer les corrections à effectuer sur toute l'étendue de l'échelle et pour éliminer en même temps les erreurs de lecture de l'étalonnage, chaque tableau a été traduit par un graphique.

Pour les tachymètres de l'alternateur et de la turbine, on a déterminé le coefficient de correction qui peut être considéré comme indépendant de la lecture et égal à 0,967, pour le premier et 1,2 pour le second.

Conditions de fonctionnement. — Etant donné l'incertitude qui règne sur la détermination théorique des chutes de tension des alternateurs, nous avons cru devoir donner en



double les chiffres déduits des résultats d'essais en employant successivement : 1° la méthode de Behn Eschenburg telle qu'elle a été décrite dans l'un de mes précédents articles [1]; en opérant le court-circuit sur deux phases, l'expérience m'a conduit à reconnaître comme satisfaisante cette façon de procéder qui a été appliquée en particulier aux essais de Jonage; 2° la méthode de Rothert, qui diffère un peu de la précédente et a été appliquée aux chiffres résultant du court-circuit sur trois phases, méthode théoriquement plus exacte.

1° *Méthode de Behn-Eschenburg.* — Les tableaux ci-après résument l'interprétation des résultats.

Détermination de la résistance apparente en fonction de l'excitation. $R_{app} = \frac{E}{J}$

EXCITATION	E	J	R_{app}
10 amp.	43 v.	950	0,0452
20	84	1900	0,0442
30	115	2850	0,0403
40	139	3800	0,0365
50	155	4750	0,0326
60	164	5700	0,0288

Caractéristique en charge avec I = 1620 *ampères.*

AMPÈRES d'excitation	R_{app}	RI	E	U	
				cos φ = 1	cos φ = 0,75
10	0,0452	73,2	43	»	»
20	0,0442	71,6	84	39	17
30	0,0403	65,3	115	89	59
40	0,0365	59,1	139	120	90
50	0,0326	52,8	155	141	112
60	0,0288	46,5	164	152	127

Sur le graphique (p. 38), on a tracé les caractéristiques correspondant à la pleine charge pour cos φ = I et pour cos φ = 0,75.

2° *Méthode de Rothert.* — Le principe de la méthode est le suivant :

Si l'on néglige la chute de tension due à la résistance ohmique et à la résistance équivalente aux courants de Foucault, on obtiendra le courant d'excitation J nécessaire pour donner I ampères sous *e* volts avec un cos φ donné en formant le triangle ci-dessous dans lequel J_1 est le courant d'excitation nécessaire pour donner *e* volts à vide, J_a le courant d'excitation nécessaire pour donner I ampères en cour-circuit et J le courant d'excitation cherché. L'angle $(J_a J_1) = 90° + \varphi$.

J_a J φ J_1

Avant d'appliquer cette méthode, cherchons la chute de tension ohmique. Elle est de

$$0{,}000416 \times 1620 \times 1{,}73 \text{ soit } 1{,}17 \text{ volt ou environ } 1 \text{ p. } 100.$$

Si on admet le double pour les courants de Foucault, on aura 3 p. 100 (l'angle α = 85° de la méthode précédente conduit à 5 p. 100 pour cette valeur, mais ce chiffre est peut-être exagéré).

1° Pour cos φ = I, on a

$e = 125$ volts, $I = 1620$ ampères $J_i = 33{,}3$ ampères $J_a = 20{,}6$ ampères $J = 39{,}2$ ampères $E = 139$ volts

d'où pour la chute de tension

$$\frac{139 - 125}{125} = 11{,}2 \text{ p. } 100.$$

soit, en tenant compte de la chute ohmique et par courants de Foucault, 14 p. 100.

[1] Voir *L'Éclairage Électrique* du 23 décembre 1899. Essai du matériel électrique de l'usine de Cusset.

2° Pour $\cos \varphi = 0{,}75$, on a

$$J = \sqrt{\overline{33{,}3}^2 + \overline{20{,}6}^2 + 2 .\, 20{,}6 .\, 33{,}3 .\, 0{,}66} = 48{,}5 \text{ amp. } E = 154 \text{ volts.}$$

d'où pour la chute de tension

$$\frac{154 - 125}{125} = 23{,}2 \text{ p. } 100.$$

soit en tout 26 p. 100.

Les deux méthodes donnent donc, en résumé, pour la chute de tension sous 125 volts et 1 620 ampères.

	Behn Eschenburg	Rothert
$\cos \varphi = 1$	14 p. 100.	14 p. 100.
$\cos \varphi = 0{,}75$	30 »	26 »

Rendement des alternateurs. — On a employé pour la mesure des rendements la méthode spéciale que j'ai exposée dans l'une de mes précédentes études [1].

L'alternateur a été lancé à l'aide de sa turbine puis, en supprimant brusquement l'arrivée de l'eau, on a relevé les courbes de décroissance de la vitesse :

1° Pour l'alternateur à vide (travail de frottement et ventilation, A_0, de l'alternateur + travail de frottement et ventilation, T, de la turbine tournant dans l'air).

2° Pour l'alternateur excité à 33 ampères, excitation qui correspond à peu près au voltage normal sur la caractéristique à vide. (A_0 + hystérésis et courant de Foucault $A_{33} + T$).

3° Pour l'alternateur à vide avec un frein chargé à 61,2 kg sur le manchon d'accouplement dont le diamètre était de 1,38 m ($A_0 + T + f$).

La valeur de f pour la vitesse de 300 tours à la minute, soit 5 tours à la seconde, se trouvait ainsi être

$$\frac{61{,}2 . \pi . 1{,}38 . 5}{75} = 17{,}7 \text{ chevaux-vapeur.}$$

(Détail de la charge : poids 60 kg + crochet 1,2 kg ; le peson au zéro).

Pour déterminer T on a séparé la turbine de son alternateur, puis on a relevé la courbe de décroissance des vitesses : 1° pour la turbine seule : T ; 2° pour la turbine avec un frein sur le manchon d'accouplement (mêmes conditions que précédemment) $T + f$ [2].

Cette série de mesures mécaniques nous a donné :

1° Pour la valeur A_0 des pertes de l'alternateur à vide par frottement et ventilation, 5 chevaux, soit 1 p. 100.

2° Pour la valeur A_{33} des pertes par hystérésis et courants de Foucault avec 33 ampères d'excitation, 19,83 chevaux, soit 3,96 p. 100.

Quant aux pertes par effet Joule dans l'inducteur et l'induit, elles ont été déterminées en déduisant la résistance ohmique de ces circuits de leur constitution. On a trouvé 1,01 p. 100 dans l'induit et 1,2 p. 100 dans l'inducteur [3].

---

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 24 octobre 1896. Nouvelle méthode pour la détermination des rendements.

(2) Cette seconde mesure au frein était nécessaire parce que la suppression de l'alternateur avait eu comme conséquence de donner d'autres valeurs à la masse et au rayon de giration.

(3) L'induit comporte 20 bobines en parallèle par phase (les trois phases montées en Y). La spire moyenne ayant une longueur de 208 centimètres et chaque bobine comportant 6 spires, la longueur totale est de 12,50 m. Le

On en déduit que le rendement de l'alternateur est, pour $\cos\varphi = 1$

$$\frac{350}{350 + 3,68 + 14,6 + 3,55 + 4,2} = \frac{350}{376,03} = 93,07 \text{ p. } 100;$$

si l'on ne fait pas intervenir le rendement de l'excitatrice, et

$$\frac{350}{350 + 3,68 + 14,6 + 3,55 + 4,2\,\frac{100}{80}} = \frac{350}{377,08} = 92,81 \text{ p. } 100.$$

en comptant pour l'excitatrice un rendement de 80 p. 100.

Essai de mise en charge. — L'alternateur a été mis en charge sur un rhéostat en tôle noyé dans le canal de fuite (1).

On obtint ainsi une charge (2) d'environ 334 kilowatts (avec 1 540 ampères sous 132 volts). L'excitation correspondante était de 43,2 ampères.

Après trois heures trois quarts de marche à ce régime, les températures des bobinages avaient atteint 42 degrés (induit) et 49 degrés (inducteurs). La masse des tôles s'échauffa jusqu'à 89,5 degrés. La température ambiante était de 14 degrés.

Pendant que l'alternateur était en charge, on fit des mesures de débit. On trouva 174 litres par seconde (3).

On peut en déduire le rendement approximatif de la turbine (en supposant les trois phases également chargées).

La chute étant de 280 m, la charge de l'alternateur d'environ 334 kilowatts et son rende-

---

diamètre de chaque fil est de 6,2 mm, ce qui correspond à 30,2 mm² de section. La section totale est donc 30.20 = 600 mm² et la résistance par phase, à chaud

$$\frac{20}{600}\cdot\frac{12,5}{1000} = 0,000416 \text{ ohms}$$

La résistance de l'inducteur a été d'autre part trouvée égale à 2,25 ohms.

Les pertes par effet Joule sont donc :

1° Dans l'induit $3.0,000416.\overline{1690}^2 = 3550$ watts, soit 1,01 p. 100;

2° Dans l'inducteur $2,25.\overline{43,2}^2 = 4200$ watts, soit 1,2 p. 100 (le chiffre de 43,2 amp, adopté pour le courant d'excitation en charge, correspond à celui qui a été effectivement relevé dans un essai ci-après mentionné).

(1) Ce rhéostat était composé de trois plaques de tôles de 0,5 mm d'épaisseur, découpées de façon à ne pas interrompre leur continuité, en bandes de 9 cm de large.

On forma ainsi trois bandes de 17 m de long reliées à l'une de leurs extrémités et maintenues à 50 cm les unes des autres par des traverses en planches clouées sur la tôle. Le tout fut noyé dans le canal de fuite et maintenu en place par de grosses pierres.

(2) La mesure exacte de la charge eut exigé une lecture sur chacune des phases, soit trois ampèremètres de 2000 ampères ou, mieux encore, l'emploi d'un wattmètre approprié. L'erreur commise est toutefois sans influence au point de vue des essais électriques, puisqu'il s'agissait simplement, à cet égard, de contrôler les conditions de fonctionnement pour un régime déterminé.

(3) Avec un déversoir de 1,32 m de large, la lame déversante atteignit 18 centimètres d'épaisseur pour le débit de la turbine d'alternateur et de la turbine d'excitatrice. En fermant le vannage de la première, on releva une lame de 0,6 cm correspondant au débit de l'excitatrice.

En raison des irrégularités des maçonneries formant les côtés du déversoir, il convient d'adopter comme coefficient du débit la valeur 0,41.

Le débit de la turbine d'alternateur était donc

$$0,41.1,32.0,174.\sqrt{2g.0,174} = 174 \text{ litres.}$$



ment 93,07 p. 100, il en résulte pour le rendement de la turbine la valeur

$$334\,000 \times \frac{100}{93,07} \times \frac{1}{738} \times 75 \times \frac{1}{174.280}$$

soit 0,74 (1).

Un second essai a été fait à environ demi-charge. Le rendement approximatif était alors de 0,778 (2).

Rendement des transformateurs de 175 kilowatts E. Labour. — La méthode prévue au programme n'ayant pu être employée, faute des instruments nécessaires; on a mesuré: 1° la perte à vide (hystérésis et courants de Foucault des noyaux de tôle) p_0; 2° la perte par effet Joule dans le circuit à basse tension J_b; 3° la perte par effet Joule dans le circuit à haute tension J_h; et on a calculé le rendement par la formule

$$x = \frac{175\,000}{175\,000 + p_0 + J_b + J_h}$$

On a trouvé (voir le tableau d'essais)

$$p_0 = 3987 \text{ watts.}$$
$$J_b = 3R_1 I^2_1 = 875^2.0,000324 = 745 \text{ watts}$$
$$J_h = 3R_2 I^2_2 = 7,57^2.3.82 = 658 \text{ watts.}$$

Par phase à basse tension : — 13 spires de 850 mm² de section totale. — Longueur de la spire moyenne 1,06 m. — $R_1 = \frac{20}{850} \cdot \frac{13,8}{1\,000} = 0,000324$.

Par phase haute tension : — 1 510 spires de 11,34 mm² de section. — Longueur de la spire moyenne 1,44 m. — $R_2 = \frac{20}{11,34} \cdot 2,17 = 3,82$.

On en conclut

$$x = \frac{175\,000}{180\,370} = 97 \text{ p. } 100 \quad \text{pour } \cos\varphi = 1.$$

$$x = \frac{175\,000}{181\,481} = 96,4 \text{ p. } 100 \quad \text{pour } \cos\varphi = 0,75.$$

Essai des moteurs synchrones. — Ces essais avaient pour but : 1° la détermination des rendements des moteurs à pleine charge ; 2° l'établissement des graphiques donnant,

(1) Quand on procédera aux essais du matériel hydraulique, pour avoir la valeur exacte, il conviendra d'employer un wattmètre pour mesurer l'énergie électrique fournie par l'alternateur.

(2) La puissance approximative (déduite des mesures sur une seule phase), fournie par les alternateurs était de :

$$126,9.772.\sqrt{3} = 169,000 \text{ watts, soit 230 chevaux.}$$

Les pertes dans les alternateurs étaient de :

1° Ventilation 5 chevaux ; 2° Hystérésis et courants de Foucault 19,83 chevaux ; 3° Joule (inducteurs) 5,7 chevaux ; 4° Joule (induit) 3 $\frac{0,000416.\overline{800}^2}{736} = 1,1$.

La turbine fournissait donc à l'arbre de l'alternateur 261,63 chevaux.

D'autre part, la lame déversante étant de 11,4 cm le débit était

$$0,40.1,32.0,114\sqrt{2g.0,114} = 0,090 \ m^3 = 90 \text{ litres.}$$

Le rendement approximatif était alors

$$\frac{261,63.75}{90.280} = 0,778.$$

L'écart de 3,8 p. 100 entre le rendement en pleine charge et à demi-charge est de l'ordre de grandeur des erreurs que peut amener la dissymétrie des branches du rhéostat lorsque les lectures sont faites sur une seule phase.



en fonction du nombre d'ampères, la puissance disponible à l'arbre en supposant un décalage correspondant à cos $\varphi = 0,9$ et le voltage constant de 120 volts [1].

On a, pour cela, mesuré : 1° les watts consommés pour la marche à vide W_0 ; 2° la résistance de l'induit (par phase) R.

En désignant par I l'intensité du courant, la puissance disponible sur l'arbre sera

$$P = 0,9 \times 120 \times I \times \sqrt{3} - W_0 - 3RI^2$$

et le rendement

$$x = \frac{P}{120.I.\sqrt{3}.0,9.}$$

Moteur de 50 chevaux. — On a trouvé : $W_0 = 3\,530$ watts (pour une excitation de 5,75 ampères) ; $R = 0,00336$.

On a donc

$$P = 0,9.120.I.\sqrt{3} - 3530 - 3.0,00336.\ I^2$$

et

$$x = \frac{P}{0,9.120.I.\sqrt{3}.}.$$

Ces résultats sont traduits par un graphique annexé au présent rapport.

Pour la pleine charge, soit $I = 197$ ampères, on a

$$x = 89,2 \text{ p. } 100.$$

Moteur de 100 chevaux. — On a trouvé : $W_0 = 5,700$ watts ; $R = 0,0024$

D'où

$$P = 0,9.120.I.\sqrt{3} - 5700 - 3.0,0024.I^2$$

et

$$x = \frac{P}{0,9.120.\sqrt{3}.I}$$

résultats également consignés dans un graphique annexé.

Pour la pleine charge, soit $I = 394$ ampères, on a

$$x = 90,6 \text{ p. } 100.$$

J.-L. Routin.

(1) Moteurs installés chez M. Lafuma.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

ACCUMULATEURS

Elément secondaire de Titus Ritter von Michalowski. *Centralblatt für Accumulatoren und Elementenkunde*, t. I, p. 300, 1er septembre 1900.

Dans ses brevets (brevet hongrois 17109 et brevet allemand 112351 du 19 avril 1899) l'auteur insiste particulièrement sur l'emploi de l'oxyde de nickel Ni^2O^3 comme dépolarisant dans les éléments à électrolytes alcalins. Différents oxydes métalliques ont bien été brevetés antérieurement à cet effet, c'est le cas notamment pour le brevet 38383, mais sans que l'inventeur se soit rendu compte de leur action par un essai.

L'oxyde Ni^2O^3 se forme par absorption de chaleur en partant de l'oxydule ; on peut donc le considérer comme une combinaison endothermique. Il en résulte qu'en employant ce corps comme dépolarisant il est possible de transformer en énergie électrique toute la chaleur d'oxydation du zinc tandis qu'avec d'autres dépolari-



sants une partie de celle-ci est annulée par la réduction du dépolarisant.

Si on applique la formule de Thomson $E = \frac{W}{n.22,9}$ dans laquelle E est la force électromotrice, W la quantité de chaleur dégagée et n le nombre de valences, on trouve pour l'élément zinc-alcali (potasse ou soude), oxyde de nickel E = 1,84 volt. Des mesures effectuées directement ont donné d'autre part E = 1,85 volt.

En comparant à l'accumulateur au plomb, on trouve qu'alors que dans celui-ci 16 gr d'oxygène sont disponibles pour 223 gr d'oxyde de plomb, dans l'accumulateur breveté ici, la même quantité d'oxygène correspond seulement à 150 gr d'oxydule de nickel. Comme d'autre part à égale capacité l'électrode de zinc est 3 fois plus légère que celle de plomb, l'auteur en conclut qu'à égale énergie électrique le nouvel accumulateur zinc-alcali-oxyde de nickel doit être deux à trois fois plus léger que l'accumulateur actuel au plomb.

Cependant l'expérience a appris que si on se contente de constituer la positive d'une pastille entourée simplement par le conducteur, ainsi que le propose le brevet 38383, il n'y a pas contact suffisamment intime entre la matière et le conducteur.

Les procédés employés avec le plomb ne conduisent ici qu'incomplètement au but; avec la formation genre Planté par exemple, on n'obtient qu'une couche excessivement mince d'oxyde, même si on emploie du nickel très poreux. Une élévation de température jusqu'à 100 degrés n'apporte aucune amélioration. Si on forme en solution alcaline, on obtient plus rapidement une couche d'oxyde mais celle-ci n'adhère pas. On n'obtient pas de meilleur résultat en ajoutant des oxydants dans la solution hydratée. L'échauffement de la plaque dans un courant d'air, qui réussit pour les électrodes à oxyde de cuivre, ne réussit pas pour le nickel.

Par contre, il est possible d'obtenir une oxydation du nickel en oxyde si on le chauffe non dans l'air, mais dans l'oxygène pur, ou encore dans l'air comprimé. On peut également employer tous les gaz capables de céder facilement leur oxygène. Il suffit de chauffer au-dessus de 300 degrés pour avoir une bonne oxydation; celle-ci d'ailleurs ne pénètre pas très profondément et laisse une partie de métal inattaqué comme conducteur.

Les agents oxydants qui cèdent facilement leur oxygène entre 300 et 600 degrés C tels que nitrates et chlorates conviennent également bien; et parmi eux le nitrate d'ammoniaque est tout désigné puisqu'il ne laisse aucun résidu par échauffement. Pour l'emploi de celui-ci, on imbibe le nickel poreux avec le sel fondu puis on chauffe ensuite avec précaution; on répète plusieurs fois cette opération.

On peut aussi oxyder avec l'oxygène naissant, en utilisant le nickel comme anode dans l'électrolyte fondu à une température de 300 à 600 degrés. On obtient ainsi une couche dure et compacte d'oxyde de nickel. L. J.

Procédé Hermann Schloss de fabrication des électrodes d'accumulateurs. *Centralblatt für Accumulatoren und Elementenkunde*, t. I, p. 300, 1er septembre 1900.

Dans le brevet allemand 112888 du 29 janvier 1899 Hermann Schloss indique un procédé pour donner à la matière active une grande porosité et une grande solidité. Il additionne pour cela l'oxyde de plomb d'alun en cristaux assez gros et ce mélange sec est malaxé avec une solution de potasse de 6 à 7 degrés Baumé. Il en résulte une matière plastique onctueuse qui est empâtée sur le quadrillage. Après séchage, les plaques sont formées d'abord dans une solution d'alun à 3 degrés Baumé puis enfin dans une solution sulfurique à 18 degrés B. On charge ainsi 5 à 6 fois la capacité, après quoi on obtient une matière active très poreuse et très dure. Ce procédé doit être préféré à des procédés semblables (entre autres brevet allemand 83154) parce que la grosseur des cristaux d'alun reste invariable et peut-être même augmente un peu par suite de la formation d'une couche d'alumine hydratée à la surface de l'alun. Cette alumine gélatineuse agit comme ciment sur l'oxyde de plomb.

Il faut considérer aussi que par l'action de la potasse sur l'oxyde de plomb, une partie de celui-ci se dissout à l'état de plombite qui restitue pendant le séchage l'oxyde de plomb sous forme cristalline. L. J.

---

(1) Voir l'analyse du brevet anglais n° 15370, 1899, dans *L'Éclairage Électrique* du 17 mars 1900, t. XXII, p. 415.



Sur un nouveau procédé de formation autogène des plaques d'accumulateurs, du Dr H. Beckmann. D'après des renseignements fournis par l'auteur.

Le Dr H. Beckmann a recherché un procédé de formation exempt des inconvénients des procédés actuels qui d'après lui sont les suivants :

Lorsqu'on emploie la formation hétérogène, c'est-à-dire lorsque les plaques constituées par un quadrillage ou une grille de forme appropriée sont empâtées d'un mélange à base d'oxyde de plomb ou de sel quelconque de plomb, il y a toujours à craindre la présence des impuretés dans l'oxyde ou le sel de plomb employé. Il est très difficile, en effet, de se procurer ces corps avec une pureté suffisante. Parmi les nombreuses impuretés qu'on peut rencontrer, les plus dangereuses sont le chlore, le nitre et certaines substances organiques que l'électrolyse transforme en acides qui attaquent le plomb. Ces différentes substances ont pour effet principal d'abréger la durée des plaques.

Au point de vue du prix de revient la formation hétérogène doit être plus coûteuse que la formation autogène. En effet, dans les deux cas, les dépenses de courant sont très sensiblement les mêmes ; dans le cas de la formation hétérogène seul il faut ajouter à cela le prix de la matière empâtée et aussi les frais de main-d'œuvre d'empâtage.

Parmi les méthodes de formation autogène, la meilleure serait sans contredit la formation Planté pure, c'est-à-dire la formation par charges et décharges successives avec intervalles de repos, dans l'acide sulfurique étendu, si ce procédé n'était pas si long et si coûteux. Or il faut compter environ deux mois avant d'avoir une couche de matière active suffisamment épaisse.

On sait qu'un grand nombre de méthodes dites à formation rapide ont été créées en vue d'éviter ces deux inconvénients. Ces méthodes consistent à introduire dans l'électrolyte des petites quantités de corps oxydants, le plus généralement des nitrates, chlorates ou perchlorates. Ces corps introduits même en très petite quantité (c'est ainsi que Schoop emploie une solution acidulée de sulfate de soude ne renfermant que 0,2 p. 100 de chlorate de sodium, et Lukow seulement 0,005 p. 100) suffisent pour permettre de former rapidement à l'aide d'une seule charge.

Mais cette extrême sensibilité devient la cause d'un gros inconvénient du procédé. Après la formation, en effet, les lavages des plaques ne suffisent pas à enlever de celles-ci les dernières traces des substances ajoutées à l'électrolyte et il en résulte une action de ces dernières qui se continue pendant le fonctionnement de l'accumulateur et par suite aussi une diminution de la durée des plaques.

On a essayé d'éviter cet inconvénient par un nouveau traitement de la plaque peroxydée ; celle-ci était, après sa formation, réduite par le courant en plomb spongieux en regard de plaques positives qui se chargeaient par électrolyse des dernières traces d'ions AzO^3 ou ClO^3 que renfermait la plaque formée. Après sa réduction, la plaque était peroxydée à nouveau dans l'acide sulfurique étendu pur.

Ce traitement a comme inconvénient d'augmenter très considérablement les dépenses d'énergie électrique nécessaire à la formation et aussi d'augmenter les manipulations et par suite les frais de main-d'œuvre et les accidents de plaques. De plus l'efficacité même du procédé est mise en doute par certains auteurs.

Ce sont ces différents inconvénients que le Dr H. Beckmann évite par un nouveau procédé de formation breveté dans presque tous les pays civilisés (brevet allemand n° 110228) et que possède en Allemagne l' « Accumulatoren-Werke E. Schulz » à Witten-s-Ruhr. Cette méthode consiste à charger les plaques à peroxyder dans une solution aqueuse d'acide sulfureux. Le plomb de la plaque positive se peroxyde superficiellement pendant que l'acide sulfureux se transforme en acide sulfurique. Cette solution peut être produite soit en dissolvant directement l'acide sulfureux dans l'eau, soit encore en introduisant un sulfite dans de l'eau acidulée sulfurique. Si dans ce cas, on fait passer le courant de suite après introduction de la solution on obtient une couche épaisse de peroxyde. Si au contraire on attend quelque temps en facilitant le départ de l'acide sulfureux par insufflation d'air par exemple, la couche de peroxyde formé n'est que très superficielle, ce qui prouve bien que seul l'acide sulfureux intervient dans la production du peroxyde.

Le grand avantage de cette méthode est la rapidité de formation qui dure 23 à 24 heures, sans introduction de substances nuisibles pour

la durée des électrodes puisque, comme on l'a vu, l'acide sulfureux se convertit en acide sulfurique qui est l'électrolyte même de l'accumulateur. Il n'est même pas nécessaire de lessiver les plaques après formation.

Le procédé a d'ailleurs été longtemps éprouvé par l'auteur et l'expérience lui a montré que pendant le fonctionnement la peroxydation progressive du plomb ne s'opère que lentement comme dans le cas de la formation Planté pure.

L. J.

Sur le coefficient de température de l'accumulateur au plomb, par **F. Dolezalek**. *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. VI, p. 517-519. 19 avril 1900.

Les premières recherches sur cette question furent faites par G. Meyer [1] qui trouva la force électromotrice indépendante de la température pour les concentrations 12,3, 27,8 et 45 p. 100 H^2SO^4.

Plus tard F. Streintz [2] conclut d'un grand nombre d'expériences que le coefficient de température était très petit mais estimable, et que sa valeur, toujours positive, pouvait être représentée, pour des densités d'acide comprises entre 1,144 et 1,173, par l'équation

$$\frac{dE}{dT} = 357.10^{-6} - 0{,}64(E - 1{,}998)^2$$

La valeur maxima atteinte pour la densité 1,16 (22 p. 100 SO^4H^2), était égale à 3,41. 10^{-4}.

Les résultats de Streintz sont consignés dans le tableau suivant :

Force électromotrice mesurée	$10^6 \frac{dE}{dT}$ mesuré	$10^6 \frac{dE}{dT}$ calculé
1,9223	140	—
1,9828	228	213
1,9860	274	265
1,9920	333	335
2,0031	335	341
2,0072	312	305
2,0084	285	293
2,0090	279	280
2,0105	255	265
2,0779	130	—
2,2070	73	—

La première colonne donne les valeurs des forces électromotrices mesurées de 10 en 10 degrés ; la troisième colonne se rapporte aux coefficients calculés d'après la formule empirique ci-dessus.

Streintz en concluait qu'entre 10 et 70 degrés, le coefficient de température était indépendant de la température.

Dolezalek calcule le coefficient de température d'après la théorie et en recherche les variations :

En appelant E la force électromotrice et U la chaleur de réaction, on sait que

$$E = \frac{U}{23073} + T\frac{dE}{dT}$$

ce qui donne pour le coefficient de température

$$\frac{dE}{dT} = \frac{E}{T} - \frac{U}{23073T} \qquad (1)$$

D'autre part, on a vu précédemment qu'en considérant un cycle isotherme de vaporisation et en appliquant les lois de la thermodynamique, la force électromotrice à 18 degrés C. pour une concentration faible c (en molécules-grammes par litre) peut être représentée simplement par

$$E = 1{,}92 + 0{,}15 \log c.$$

En portant dans l'équation (1) et en faisant $T = 291$ (18° C.), on obtient pour $\frac{dE}{dT}$ en millivolts par degré

$$\frac{dE}{dT} = 0{,}52 \log c + C^{te}$$

Cette équation qui n'est valable que pour les faibles concentrations, de $c = 0{,}1$ à $c = 0{,}0005$ montre que pour les solutions plus étendues que celles employées par Streintz dans ses recherches, le coefficient de température doit tomber rapidement à 0 et même devenir négatif.

Afin de vérifier expérimentalement ce fait, Dolezalek a poursuivi les recherches de Streintz et a étendu les mesures à toutes les concentrations possibles. Dans ce but, un petit élément en matières chimiquement pures était rempli d'acide à différentes concentrations et la force électromotrice était mesurée à 0 et 24° C. Avant d'obtenir pour celle-ci une valeur constante, l'élément devait rester 6 heures à la température considérée. Pour éliminer l'erreur due aux actions locales, l'acide était titré après chaque mesure et on corrigeait les mesures à l'aide du coefficient d'acide exactement connu.

[1] *Wied. Ann.*, t. XXXIII, p. 278, 1883.
[2] *Wied. Ann.*, t. XLVI, p. 499, 1892.

La courbe de la figure 1 qui exprime les résultats obtenus montre bien que le coefficient de température prend une valeur tantôt positive,

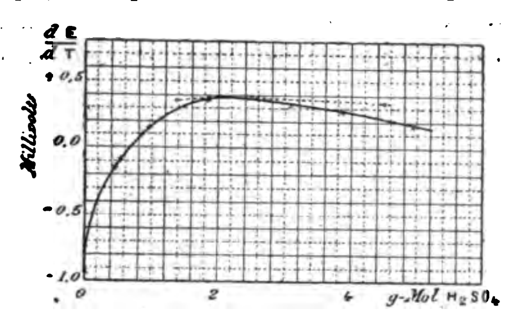


Fig. 1.

tantôt négative, selon la densité de l'acide. Le maximum de ce coefficient a lieu pour $c = 2$, ce qui concorde bien avec les expériences de Streintz.

Pour la concentration $c = 0,7$ mol-gr H^2SO^4 par litre la force électromotrice devient indépendante de la température, et pour les concentrations plus faibles, le coefficient devient négatif.

Les valeurs obtenues ici sont en partie plus grandes que celles données par Streintz parce que ce dernier faisait les mesures immédiatement après l'échauffement au lieu d'attendre la constance de la force électromotrice.

En calculant par la formule ci-dessus la variation du coefficient de température, on obtient la courbe pointillée de la figure 1. Le maximum est le même que celui mesuré; mais les valeurs calculées baissent plus lentement que celles données par expérience.

Le coefficient de température peut également être calculé d'après le dégagement de chaleur de l'accumulateur fonctionnant, ce qu'on appelle sa chaleur secondaire. Pour des solutions assez concentrées on trouve les valeurs portées dans le tableau suivant :

Densité de l'acide	Chaleur secondaire watt-sec.	$\frac{dE}{dT}$ en millivolts par degré		
		calculé	mesuré	
			Streintz	Dolezalek
1,155	0,094	0,35	0,33	0,36
1,153	0,089	0,32	0,32	0,37
1,237	0,046	0,17	0,15	0,25

qui confirme suffisamment les déterminations précédentes du coefficient de température, étant données les nombreuses erreurs possibles dans ces dernières mesures.

Streintz avait trouvé, comme on a vu plus haut, que la force électromotrice est une fonction linéaire de la température pour des concentrations assez élevées. Dolezalek trouve la même loi pour les solutions très étendues. Avec la concentration 0,0005 normale, il obtient la courbe figure 2.

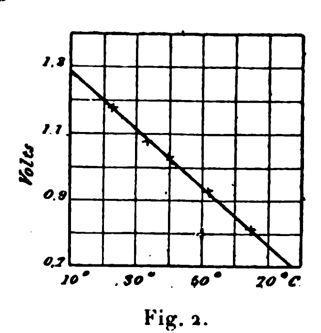


Fig. 2.

Cette courbe très intéressante montre que par l'emploi de solutions très étendues, l'accumulateur peut fonctionner très efficacement comme élément thermoélectrique. Il suffit de mettre en opposition 2 batteries de tels éléments, de maintenir l'une à 10° C. et l'autre à 80° C. environ pour obtenir une force électromotrice de 0,6 volt par élément. Dans le fonctionnement, la batterie froide se décharge et l'autre se charge.

Cette propriété de l'accumulateur, quoique sans intérêt pratique, était néanmoins curieuse à signaler. L. J.

MESURES

Les essais magnétiques des tôles de fer, par **I. Epstein**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXI, p. 303, 19 avril 1900.

Après avoir exprimé le désir de voir l'unification des méthodes pour les essais de tôles de fer, l'auteur expose la méthode suivante employée chez Lahmeyer. L'essai se fait par la méthode du wattmètre au moyen d'un appareil dont le circuit magnétique comprend deux paquets de tôles à essayer, ainsi que deux barres qui les réunissent. L'enroulement se fait sur la barre de fermeture et est semblable à celui de l'appareil dont le principe a été exposé par Dobrowolsky et Kapp. Comme le circuit magnétique renferme non seulement le fer à essayer, mais encore du fer étranger, la perte par hysté-

résis mesurée est double environ de celle des tôles en épreuve. De plus il y a une dispersion dont l'effet est difficile à mesurer. On a donc modifié l'appareil de façon à éviter tout fer étranger et à répartir la force magnétisante uniformément sur tout le circuit. Un anneau répond à ces conditions. Pour pouvoir rapidement assembler l'appareil, on lui a donné la forme de la figure 1 ; chaque côté du carré est

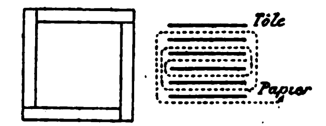


Fig. 1 et 2

entièrement recouvert d'une même bobine ; pour éviter les vibrations, les tôles sont calées sur du bois.

La perte totale, mesurée au wattmètre, comprend l'hystérésis et les courants de Foucault. L'alternateur employé doit être à vitesse variable. Si on néglige la perte ohmique et la réaction d'induit, il suffit de laisser l'excitation constante pour avoir une induction dans les tôles constante et indépendante de la vitesse. En effet, à chaque moment la force contre-électromotrice de l'appareil E_a est égale à la force électromotrice de la machine E. Donc pour les deux appareils, le nombre des lignes de force traversant les spires multiplié par le nombre de spires doit être le même. Or les nombres des lignes de forces dans l'appareil et dans l'induit sont en raison inverse du nombre des spires, le rapport est donc indépendant de la fréquence qui est la même. Pour une forme donnée d'induit et pour un appareil donné, l'induction est déterminée par l'excitation de l'alternateur. Ce raisonnement ne permet qu'un réglage approximatif à cause de la perte ohmique et de la réaction d'induit. Dans la réalité, on mesure au voltmètre la tension de l'appareil, et on laissera constant le rapport de cette tension à la fréquence.

Dans les essais de tôles, il faut avoir soin de choisir divers échantillons d'un envoi pour avoir une moyenne. Les tôles sont découpées en bandes de 500 mm de longueur et 40 mm de largeur et réparties à la balance en quatre paquets de 65-70 tôles par paquet. Les tôles sont enveloppées de papier de soie suivant la disposition de la figure 2, chaque faisceau étant divisé en trois paquets pour ne pas exagérer la grosseur du papier. Chaque paquet est tenu par trois bagues isolantes. Les quatre paquets sont assemblés comme montre la figure 3. Au droit des joints, on

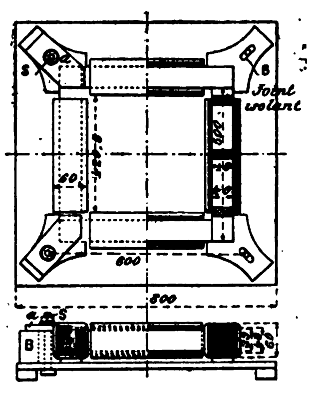


Fig. 3.

ébarbe le papier, le contact des deux noyaux étant empêché par une feuille de pressspahn de 0,15 mm, Sur chaque noyau, on glisse une bobine de pressspahn sur laquelle sont enroulés 100 tours de fil de cuivre de $\frac{28}{10}$. La grande dimension des tôles a été choisie de façon à réduire la dispersion autant que possible. Les tôles sont subitement immobilisées au moyen de chevilles de bois B fixées avec des écrous S. Si le montage est bien fait, le ronflement doit complètement cesser.

La figure 4 indique le schéma de l'appareil.

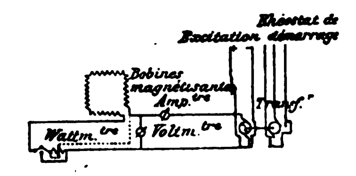


Fig. 4.

Les bobines magnétisantes sont en série et ont une résistance totale de 0,13 Ω. Le courant alternatif est pris sur les bagues d'un alternateur accouplé directement à un moteur continu ; les erreurs de vitesse ayant une grande influence on se décida à accoupler directement le tachymètre sur l'arbre du moteur.

Pour produire une induction déterminée il faut connaître exactement la section : on la déduit du poids absolu et du poids spécifique que

l'on détermine directement : à cet effet on prend douze plaques de tôles 1 × 12 cm, dans des échantillons différents et on en détermine les poids et le volume.

Dans les essais de l'auteur, on a opéré à trois inductions différentes : 6000, 10000 et 15000. Le poids total était de 19,33 kg, le poids spécifique de 7,61, la section de 12,7 cm². Pour l'induction 6000 le flux maximum était de 76200. Comme il y avait 900 spires, on avait pour une fréquence p une force électromotrice moyenne égale à

$$E_m = 4\ p.\ 400.\ N.\ 10^{-8}\ V$$
$$= 1600\ p.\ 10^{-8}\ 76.200\ V.$$

Si on appelle α le rapport de la force électromotrice effective à la force électromotrice moyenne on a

$$E = \alpha.1600.\ p.\ 10^{-8}.\ 76200\ V.$$

La figure 5 donne la courbe de force électromotrice de l'alternateur. On a pour α la valeur 1,11. Donc.

$$\frac{E}{p} = 1{,}353\ V.$$

Les essais ont été faits avec des fréquences de

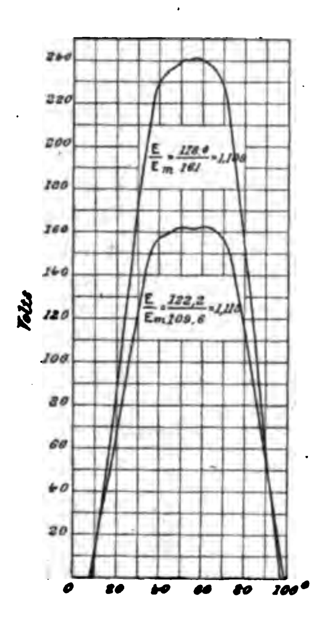
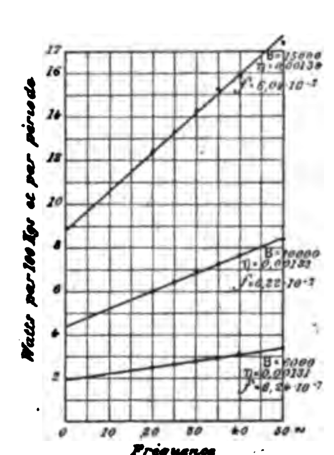
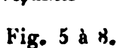
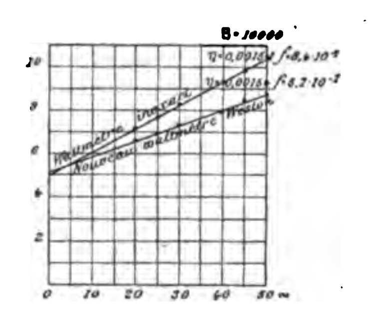
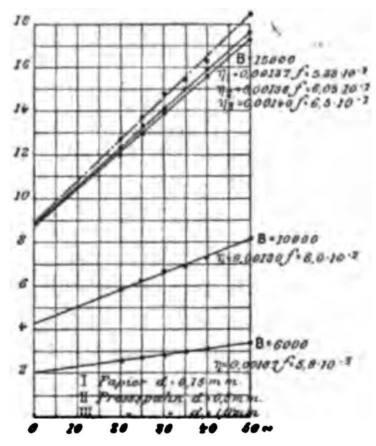






Fig. 5 à 8.

20, 25, 30, 35, 40, 50, ce qui donnait des forces électromotrices respectives de 27,1 — 33,8 — 40,6 — 47,4 — 54, 1 — 67,7.

En agissant sur l'excitation du moteur continu on avait la fréquence et la tension voulues. On faisait les lectures sur l'ampèremètre et le wattmètre. En retranchant la perte dans le cuivre et dans le wattmètre on avait la perte dans le fer.

La séparation des pertes par hystérésis et courants de Foucault se fait par la relation connue

$$\text{Pertes dans le fer} = \eta B^{1,6}\ p + f\ B^2 p^2.$$

Dans la figure 6 on a représenté les pertes dans le fer par 100 kg et par période en fonction de la fréquence. Ces courbes sont des droites d'après la formule précédente. Ces droites coupent l'axe des ordonnées en des points qui donnent la perte par hystérésis

pour B = 6000 on a 1,92 W
B = 10,000 4,38 W
B = 15,000 8,82 W.

On en déduit pour le coefficient du Steinmetz.

$$\eta = 0{,}00131.$$

Si nous retranchons les pertes par hystérésis

des pertes totales, par exemple pour la fréquence 50 nous obtenons les pertes par courants de Foucault. On trouve

$$f = 6{,}25 . 10^{-7}.$$

Parmi les causes d'erreurs, il faut signaler d'abord les inexactitudes du wattmètre, qui sont d'autant plus importantes ici que le décalage est très considérable. Pour se rendre compte de cette erreur, on a fait l'essai avec plusieurs wattmètres dont l'un était construit pour une tension notablement supérieure, et qui par suite était employé avec une résistance moindre que celle indiquée par le constructeur. La figure 7 montre les résultats comparatifs obtenus avec un wattmètre inexact et le nouveau wattmètre Weston. Ces conclusions montrent ce résultat surprenant qu'un wattmètre inexact par suite d'une trop forte induction de la bobine, donne néanmoins un coefficient η exact. L'erreur commise diminue en effet avec la fréquence et devient nulle pour la fréquence 0.

D'autres essais ont permis de déterminer l'influence des joints. La figure 8 représente des essais faits respectivement en interposant une feuille de papier de 0,15 mm, un presspahn de 0,5 mm et de 1 mm.

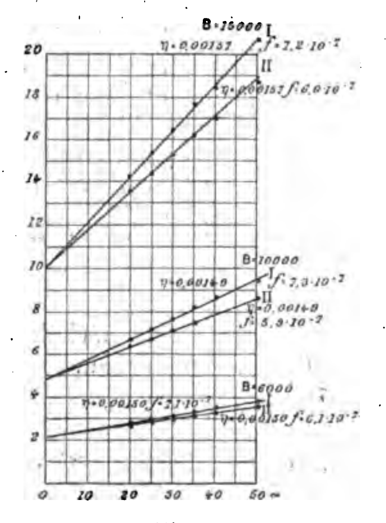


Fig. 9.

Pour B = 6000 et B = 10 000 on ne peut voir de différence. Pour B = 15000 la perte par hystérésis reste la même, les courants de Foucault seuls varient.

La figure 9 représente des essais faits à diverses températures. On voit que η ne varie pas, mais que la constante des courants de Foucault diminue de 0,4 p. 100 par degré centigrade.

E. B.

***Indicateur de courant à distance*, par C. Michalke et O. Martienssen.** *Elcktrotechnische Zeitschrift*, t. XXI, p. 461, 7 juin 1900.

Dans les installations où deux stations éloignées travaillent sur le même réseau, il est souvent important que l'une des deux stations connaisse le débit de l'autre.

A cet effet, on peut employer pour la mesure des intensités, des résistances intercalées dans la ligne de l'une des stations : des deux extrémités de ces résistances partent des fils qui vont à l'ampèremètre situé dans l'autre station. Pour permettre une lecture réciproque, il faudrait ainsi 4 conducteurs, ce qui est peu pratique si les stations sont distantes l'une de l'autre. Grâce à un montage approprié, on peut réduire ce nombre.

Soient 2 stations alimentant un réseau commun (fig. 1).

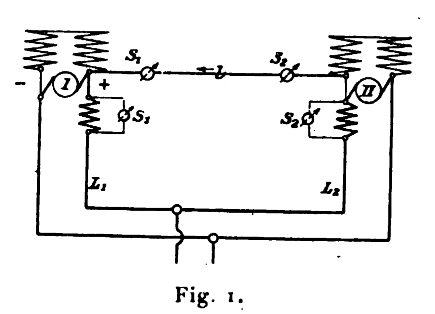


Fig. 1.

Le courant de la station 1 est mesuré par l'ampèremètre S_1, celui de la station 2 par S_2. Réunissons les 2 pôles + par une ligne l dans laquelle se trouvent l'ampèremètre s_1 pour la station 1, s_2 pour la station 2. Soient I_1 le courant envoyé par la station 1 en L_1, I_2 le courant de la station 2 en L_2, i le courant en l, R_1 la résistance de L_1 depuis le pôle + jusqu'au départ du réseau, R_2 la résistance de L_2, r la résistance de l. On a

$$ri = + (I_2R_2 - I_1R_1)$$

Au moyen de cette relation, on peut dans la station 1 lire i et I_1 et en déduire par calcul ou au moyen de tables la valeur de I_2. On trouve

$$I_1 = + I_2 \frac{R_2}{R_1} - i \frac{r}{R_1}$$

$$I_2 = + I_1 \frac{R_1}{R_2} + i \frac{r}{R_2}$$

Au lieu de cela, on peut se servir d'instruments différentiels portant 2 enroulements, donnant, l'un un champ proportionnel à i, l'autre un champ proportionnel à I_2 ou I_1 (fig. 2). On

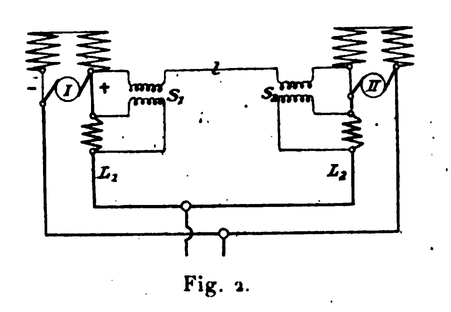


Fig. 2.

peut choisir le nombre d'ampères-tours de telle sorte que les champs produits soient entre eux dans le rapport

$$i\frac{r}{R_2} : I_2\frac{R_2}{R_1} \qquad \text{ou} \qquad i\frac{r}{R_1} : I_1\frac{R_1}{R_2}$$

Alors les indications de l'instrument de la station 1 sont proportionnelles à I_2 et réciproquement.

L'inconvénient de ce procédé, c'est qu'il nécessite des instruments spéciaux. On peut se servir du montage de la figure 3. Aux bornes de chaque

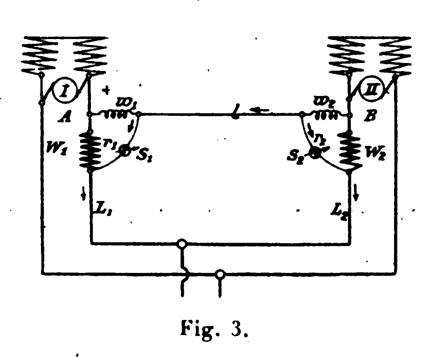


Fig. 3.

ampèremètre se trouve la somme des tensions produites par les courants I_1 et i ou I_2 et i dans leurs résistances respectives. Soient I_1 l'intensité du courant qui parcourt L_1 dont la résistance comprend la résistance de mesure R_1 ; I_2 l'intensité du courant qui parcourt L_2 ; i le courant de l ; i_1 le courant de w_1 ; i_2 le courant de w_2 ; c_1 le courant de l'ampèremètre S_1 ; c_2 le courant de S_2. Nous supposons ces deux dernières intensités négligeables par rapport à I_1 et I_2. Soient W_1 et W_2 les résistances de mesure insérées dans les lignes L_1 et L_2 ; r_1 et r_2 les résistances des ampèremètres S_1 et S_2. Nous prendrons comme sens positifs ceux indiqués par les flèches.

Pour reconnaître à quelles conditions l'ampèremètre de l'une des stations indique l'intensité de l'autre, nous supposerons la machine de 2 arrêtée. Alors S_1 doit marquer o, quelle que soit l'intensité de 1. Alors

$$I_1 W_1 + i_1 w_1 = 0$$

Or, on a

$$\frac{I_1}{-i_1} = \frac{w}{R_1}$$

en supposant que la résistance de l soit assez grande pour qu'on puisse négliger R_1 devant elle. Donc on obtient la condition

$$w_1 = w\frac{W_1}{R_1} \qquad (1)$$

Nous obtiendrons de même, en supposant que 2 seule donne du courant

$$w_2 = w\frac{W_2}{R_2}. \qquad (2)$$

Les égalités (1) et (2) étant satisfaites, et les 2 machines travaillant simultanément, chaque instrument n'est influencé que par le courant de l'autre station.

Il reste à reconnaître comment les courants qui traversent les ampèremètres dépendent des intensités débitées par les stations. Comme c_1 ne dépend que de I_2, on peut pour le calculer supposer que 1 ne débite pas. Alors le courant i_1 qui traverse w_1 est égal au courant qui traverse W_1 et nous aurons

$$c_1 : i_1 = (W_1 + w_1) : r_1.$$

Comme S_2 n'a pas de courant

$$c_1 + i_1 = i = i_2 = \frac{I_2 R_2}{w}$$

et par suite

$$c_1 = I_2\frac{R_2}{w} - c_1\frac{r_1}{W_1 + w_1}$$

d'où l'on tire

$$c_1 = I_2\frac{R_2}{w}\frac{W_1 + w}{W_1 + w_1 + r_1}.$$

Tenant compte de (1) et négligeant R_1 devant w on obtient

$$c_1 = I_2\frac{R_2 w_1}{w(r_1 + w_1)} \qquad (3)$$

de même

$$c_2 = I_1 \frac{R_1 w_2}{w(r_2 + w_2)}. \qquad (4)$$

Ces égalités montrent que, pour des résistances de mesure données, les ampèremètres seront traversés par un courant d'autant plus grand que W_1 et W_2 seront plus petits, et par suite que w est plus petit.

Nous avons supposé jusqu'ici que les résistances R_1 et R_2 étaient négligeables devant w. S'il n'en est pas ainsi, on peut déduire les équations de condition des lois de Kirchhoff

$$i_1 w_1 + I_1 W_1 - c_1 r_1 = 0$$
$$i_2 w_2 - I_2 W_2 + c_2 r_2 = 0$$

et comme on a

$$i_1 = i - c_1 \qquad i_2 = i + c_2$$

on obtient

$$I_1 W_1 - c_1 (r_1 + w_1) + i w_1 = 0$$
$$I_2 W_2 - c_2 (r_2 + w_2) - i w_2 = 0$$

on a encore

$$I_1 R_1 - I_2 R_2 + i w + c_2 w_2 - c_1 w = 0.$$

En écrivant les conditions de sensibilité maximum des ampèremètres

$$\frac{dc_1}{dI_1} = 0 \qquad \frac{dc_2}{dI_2} = 0$$

on obtient les valeurs

$$c_1 = I_2 \frac{R_2 w_1}{w(w_1 + r_1) - w_1^2}$$
$$c_2 = I_1 \frac{R_1 w_2}{w(w_2 + r_2) - w_2^2},$$

avec les conditions

$$W_1 = w_1 \frac{R_1}{w}\left[1 + \frac{w_2^2}{w(r_2 + w_2) - w_2^2}\right]$$
$$W_2 = w_2 \frac{R_2}{w}\left[1 + \frac{w_1^2}{w(r_1 + w_1) - w_1^2}\right].$$

E. B.

***Dynamomètre de traction pour chemins de fer électriques*;** par **G. Kapp.** *Elekttronechnische Zeitschrtft*, t. XXI, p. 579, 12 juillet 1900.

Dans la voiture on installe un tube parallèle aux rails ; aux extrémités, ce tube est terminé par 2 prolongements verticaux. Supposons la voie horizontale et le tube plein d'eau jusqu'à une division marquée sur l'un des prolongements, division que nous prendrons comme zéro. Pour permettre l'observation du niveau, ce prolongement est constitué par un tube de verre. Si le tube s'incline, le niveau se déplace proportionnellement à la tangente de l'inclinaison et l'on peut porter empiriquement sur le tube de verre une échelle dont les divisions correspondront à des pentes de $\frac{1}{1000}$, $\frac{2}{1000}$ .....

Si la voiture est immobile sur une voie en pente, le niveau de l'eau indiquera avec une précision suffisante la composante de la pesanteur parallèle à la voie, en kilogrammes par tonne. Cela n'est d'ailleurs pas rigoureusement exact, car le déplacement de l'eau est proportionnel à la tangente de l'inclinaison, tandis que la composante de la pesanteur est proportionnelle au sinus. Mais pour les rampes usuelles l'erreur est négligeable. Ainsi pour une rampe de 50 p. 1000, la différence entre la tangente et le sinus est de $\frac{1}{750}$; dans les rampes de 100 p. 1000 elle est de $\frac{1}{185}$ en 0,54 p. 100. Donc l'effort nécessaire pour vaincre la composante de la pesanteur en rampe peut se lire directement sur le tube gradué lorsque la voiture parcourt la rampe à vitesse uniforme.

Supposons ensuite que la voiture parcourt un palier à vitesse variable : la pression due à l'accélération produit un déplacement du niveau d'eau. Soit l la longueur du tube horizontal, h la différence de hauteur des deux niveaux :

$$l \frac{p}{g} = h$$

p est l'accélération de la vitesse, g celle de la pesanteur, comme $\frac{p}{g} < 1$ on peut poser

$$\frac{p}{g} = \sin \beta$$

On peut donc également lire sur l'échelle l'effort nécessaire pour produire l'accélération de la voiture.

Proposons-nous de déterminer la précision de cette mesure : soit (fig. 17) ab le tube horizontal de longueur l, ac et bd les prolongements verticaux, α l'angle de pente, p l'accélération parallèle au tube. Soient B et F les deux niveaux, dont la différence

$$AF = l \operatorname{tg} (\alpha + \beta)$$

$AC = l \operatorname{tg} \alpha$ est produit par la rampe.

$CF = \frac{EF}{\cos \alpha}$ est produit par l'accélération.

$$EF = l\sqrt{1 + tg^2(\alpha + \beta)} \sin \beta.$$

$$CF = l\sqrt{\frac{1 + tg^2(\alpha + \beta)}{\cos^2 \alpha}} \sin \beta.$$

On peut sans erreur sensible faire les radicaux égaux à 1.

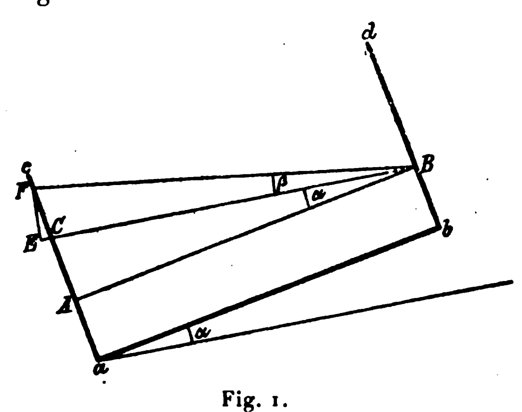


Fig. 1.

L'effort de traction lu sur l'échelle est de AF kilogrammes par tonne ; l'effort véritable est

$$1\,000 \left(\sin \alpha + \frac{p}{g}\right) \text{kg par tonne.}$$

Si donc nous désignons l'erreur commise par $1000\,f$, nous avons

$$l\,tg(\alpha + \beta) = 1\,000 f + 1\,000 \left(\sin \alpha + \frac{p}{g}\right)$$

Comme les dimensions de l'appareil n'influent pas sur l'erreur commise, nous pouvons prendre l'arbitraire. Si par exemple nous prenons un tube, de 1000 millimètres, l'échelle divisée en millimètres donnerait l'effort de traction en kilogrammes par tonne. L'égalité cidessus prend alors la forme plus simple

$$tg(\alpha + \beta) = f + \sin \alpha + \frac{p}{g}$$

$$tg(\alpha + \beta) = f + \sin \alpha + \sin \beta.$$

L'erreur commise est d'autant plus grande que la pente et l'accélération sont plus fortes. Comme valeur moyenne de l'accélération on peut adopter pour les tramways 0,4. On ne dépasse guère 0,75, sauf pendant le freinage. Dons, si on cherche la force de traction du moteur on peut prendre 0,75 comme maximum de p. Pour une rampe de 50 p. 1000 et une amélioration de 0,4 on a

$$\sin \alpha = 0{,}05$$

$$\sin \beta = \frac{0{,}4}{9{,}81}$$

$$\sin \alpha + \sin \beta = 0{,}0907$$

Si l'appareil était exact il accuserait une différence de niveau de 90,7 mm. En réalité il accuse une différence de niveau de

$$1\,000\ tg(\alpha + \beta) = 91 \text{ mm}.$$

L'erreur est donc de $\frac{1}{3}$ p. 100. On peut de même calculer les erreurs pour d'autres cas, soit de démarrage, soit de freinage.

PROFIL DE LA VOIE	PALIER		RAMPE 50 p. 1000	RAMPE 100 p. 1000	DESCENTE 50 p. 1000	DESCENTE 100 p. 1000
—	—					
Accélération. .	0,04	0,75	0,75	0,4	0,75	0,4
Erreur en p. 100	0,00	0,29	0,60	0,82	0,23	0,38

PROFIL DE LA VOIE	PALIER		RAMPE 50 p. 1000	RAMPE 100 p. 1000	DESCENTE 50 p. 1000	DESCENTE 100 p. 1000
—	—					
Ralentissement	0,75	1,4	0,75	1,4	0,75	0,4
Erreur en p. 100	0,29	1,03	0,23	0,80	0,60	0,82

Toutes ces erreurs sont du même ordre de grandeur que les erreurs de lecture. Une cause d'erreur plus grave tient à ce que en rampe et au démarrage les ressorts d'avant sont un peu déchargés, tandis que ceux d'arrière sont un peu surchargés ; à la descente et pendant le freinage c'est l'inverse. Il en résulte que le tube *ab* ne reste pas parallèle à la voie. Plus le centre de gravité est élevé au-dessus des ressorts et plus la voiture s'incline. Une inégale répartition de la charge peut amener le même résultat. Ces erreurs peuvent atteindre quelques unités p. 100 et ne peuvent s'évaluer que dans des cas particuliers.

L'appareil n'indique pas l'effort nécessaire pour vaincre les frottements. Pour le déterminer, on procède de la façon suivante : on laisse reculer la voiture sur une voie aussi horizontale que possible et on lit le niveau qui indique immédiatement la force retardatrice des rails et les frottements du moteur. Pour éliminer l'influence d'une petite montée, il est bon de faire l'essai dans les deux sens et de faire la lecture au même point. La moyenne des deux lectures

représente le coefficient de traction en kg par tonne. Une fois ce coefficient déterminé il suffit de déplacer l'échelle d'une quantité correspondante pour que le niveau indique la somme des efforts.

La forme d'appareil que nous venons de décrire se prête à l'établissement à demeure sur une voiture. Le tube *ab* peut avoir la longueur de la voiture. Le tube vertical peut être disposé en un endroit commode sur les parois extrêmes de la voiture. En se servant d'un flotteur, on peut en faire un appareil enregisteur. On obtient ainsi une courbe représentant la force de traction en fonction du chemin parcouru. La surface de cette courbe est le travail par tonne. Mais cet appareil n'est pas portatif à cause de la grande longueur du tube *ab*. Pour rendre l'instrument portatif il suffit d'employer deux liquides, le mercure pour produire la différence des pressions et l'eau par la mesurer. L'appareil est représenté par la figure 2. A et B sont deux récipients de 40 mm de diamètre ; la distance *l* entre les axes de ces deux récipients n'est que de 50 cm ; le tube indicateur *d* a un diamètre de 5 mm. La différence de niveau due à une pente de 1 p. 1 000 est de 4,7 mm et comme on peut

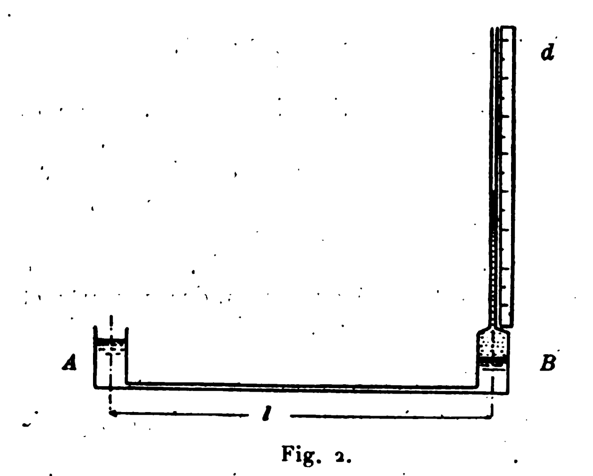


Fig. 2.

lire à 2 mm près, la force de traction est déterminée avec une approximation de 0,5 kg par tonne. Une plus grande précision serait illusoire, à cause de l'erreur produite par la flexion des ressorts.

Cet appareil a été mis en essai sur un tramway de Berlin et sur le chemin de fer de Lichterfeld, construit par Siemens et Halske. L'amortissement produit par l'étroitesse du tube *l* (3 mm) est parfaitement convenable pour l'observation des démarrages et du freinage ordinaire, mais est un peu trop énergique pour les essais avec le frein de sûreté. Il vaudrait mieux avoir un tube plus large et pouvoir régler l'amortissement avec un robinet.

Pour la voiture ordinaire de tramway, l'appareil indiqua un coefficient de traction de 12 kg par tonne : sur une forte courbe ce coefficient s'éleva à 20 kg. Sur la voiture de chemin de fer, l'appareil indiqua un effort d'accélération de 75 kg par tonne. Comme le centre de gravité était très bas, l'inclinaison de la voiture était certainement négligeable. Les essais de ralentissement furent faits sur une pente de 3 p. 1 000. Pour 6 essais doubles (12 lectures) et des vitesses variant de 13,5 à 30,7 km à l'heure, le coefficient de traction oscilla entre 8 kg et 8,1 kg. Il n'y avait pas de vent. Il semble donc que la résistance de l'air soit sans influence jusqu'à une vitesse de 30 km à l'heure. Une courbe de 200 m de rayon fit augmenter ce coefficient de 1,5 kg. La voiture était neuve : c'est ce qui explique l'élévation de ce chiffre de 8 kg.

E.-B.

DIVERS

Pouvoir thermo-électrique de quelques oxydes et sulfures métalliques, en contact entre eux ou avec des métaux, par **A. Abt.** *Drude's Annalen*, t. II, p. 266-280, juin 1900.

L'auteur a mesuré par la méthode de compensation la force électromotrice d'un grand nombre d'oxydes et de sulfures naturels, en contact entre eux ou avec des métaux purs. La force électromotrice de ces couples est souvent très élevée; ainsi celle d'un couple pyrite-chalcopyrite est environ 7,62 fois plus grande que celle du couple bismuth-antimoine (différence de température entre les soudures : 100°).

Les oxydes et sulfures se rangent dans l'ordre suivant :

Chalcopyrite	Cuivre	Fer
Pyrolusite	Cadmium	Pyrrotite
Bismuth	Minerai de nickel	Antimoine
Zinc	Charbon de lampe	Pyrite
Nickel	à arc	+

M. L.

Le Gérant : C. NAUD.



Tome XXV. Samedi 13 Octobre 1900. 7e Année. — N° 41.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

GROUPE A COURANTS TRIPHASÉS, DE 2 000 KILOVOLTS-AMPÈRES, DE MM. BORSIG, SIEMENS ET HALSKE

Le groupe électrogène Borsig-Siemens (fig. 1) est un des plus puissants des quatre groupes installés dans la section allemande. Il est formé d'un moteur à vapeur de 2500 chevaux de la maison Borsig de Berlin, et d'un alternateur de 2 000 kilovolts-ampères sortant des ateliers de MM. Siemens et Halske à Charlottenburg.

Avant de décrire en détail l'alternateur qui est un des plus remarqués de l'Exposition, nous donnerons quelques indications générales sur le moteur à vapeur.

Moteur a vapeur. — Le moteur à vapeur (fig. 2 et 3), vertical, est à triple expansion et à quatre cylindres, deux à basse pression, un à moyenne pression et un à haute pression. Chacun des deux cylindres à basse pression est accouplé en tandem avec un des autres.

L'ensemble des cylindres est soutenu à l'arrière par deux colonnes creuses en fonte et à l'avant par deux colonnes en acier forgé, fixées toutes quatre à la plaque de fondation, en deux parties, laquelle porte quatre paliers sur lesquels repose l'arbre moteur.

Cet arbre est en deux pièces réunies par des manchons à brides ; il comporte deux manivelles équilibrées, calées à 180° et attaquées chacune par un des groupes de pistons.

L'arbre porte à l'une de ses extrémités un volant pesant 41 800 kg placé entre l'un des paliers du moteur et l'un des deux paliers de l'alternateur, et à l'autre extrémité un plateau à manivelle commandant, par l'intermédiaire d'une bielle, les deux pompes à air à simple effet du condenseur par injection installé dans les sous-sols.

Le graissage se fait à l'huile sous pression à l'aide de deux petites pompes de refou-

lement remontant l'huile dans un récipient et de quatre distributeurs, deux pour les paliers

Fig. 1. — Groupe électrogène de 2 000 kilovolts-ampères de MM. Borsig, Siemens et Halske.

et les bielles, un pour les pistons et les cylindres et un pour les paliers et les pistons de la condensation.

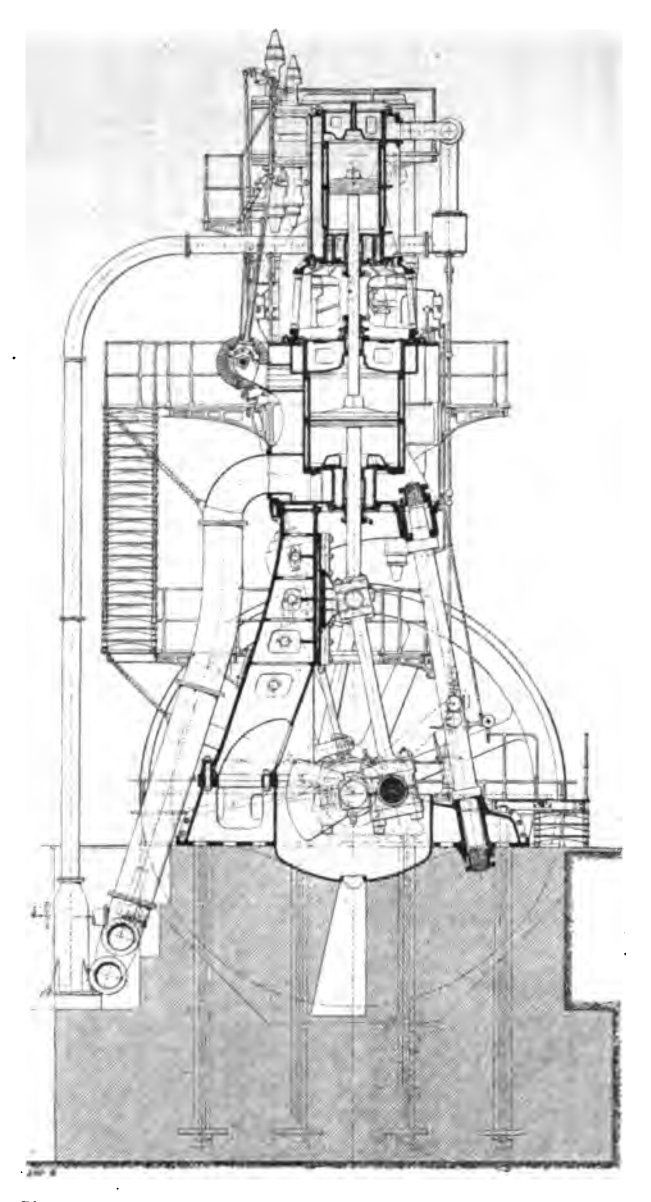


Fig. 2 et 3. — Coupes longitudinale et transversale du groupe Borsig, Siemens et Halske.

Le contrôle du graissage est facilité par l'emploi de lampes à incandescence, placées à l'intérieur des distributeurs et qui permettent de vérifier l'écoulement de l'huile.

L'admission et l'échappement de la vapeur dans les quatre cylindres se fait par des soupapes équilibrées à double siège, disposées par paire, une pour l'admission, une pour l'échappement, dans les boites de distribution. Le rappel des soupapes est obtenu par des cataractes d'huile système Collmann, donnant une marche très silencieuse de la machine.

Les soupapes sont soulevées au moyen de leviers et de lames par des excentriques montés sur un même arbre placé horizontalement derrière les cylindres et commandé par l'arbre moteur à l'aide d'engrenages coniques et d'un arbre intermédiaire portant le régulateur.

Un même excentrique, pour les cylindres à haute et moyenne pression, commande une des deux soupapes d'admission et la soupape d'échappement correspondante. Pour les cylindres à basse pression, les excentriques commandent chacun deux soupapes d'admission ou deux soupapes d'échappement.

La conduite de vapeur arrive à la valve d'admission placée à la partie supérieure entre les cylindres. La vapeur passe du cylindre à haute pression à celui à moyenne pression par une conduite horizontale ; elle se rend ensuite du cylindre à moyenne pression à une boite en fonte qui est en communication avec les deux cylindres à basse pression.

L'admission de la vapeur dans le cylindre à haute pression est réglée par le régulateur au moyen de doigts provoquant le déclanchement des soupapes d'admission. Dans les autres cylindres, l'admission est réglée par des projections fixes qu'on peut faire varier à la main.

Le réglage de la vitesse pendant la marche peut se faire en agissant à l'aide d'un petit volant sur un ressort disposé dans la butte de la cataracte d'huile du régulateur.

Le démarrage de la machine s'obtient à l'aide d'une soupape spéciale placée au niveau des cylindres à haute et moyenne pression et entre eux. Cette soupape est actionnée par un volant situé à l'extrémité d'une tige.

La mise au point de la machine se fait au moyen d'un petit moteur à courant continu entraînant par engrenages le volant à l'aide d'une denture.

La hauteur de la machine au dessus du sol atteint 12,50 m ; trois plateformes permettent de faciliter la surveillance. Tous les appareils de contrôle, les volants de manœuvre, les instruments de mesure et le tachymètre sont disposés sur la première plateforme où se tient le mécanicien.

Les principales dimensions de la machine sont les suivantes :

Diamètre du cylindre à haute pression.	76 cm
» » à moyenne pression	148 »
» des cylindres à basse pression	134 »
Longueur de la course	120 »

La poids total de la machine à vapeur est de 350 tonnes. La vitesse normale est de 90 tours par minute et la pression de 14 kg par centimètre carré. Avec une détente de 20 et avec condensation, la puissance de la machine est de 2 500 chevaux.

A l'Exposition, la pression n'est que de 10 kg par centimètre carré et la vitesse angulaire de 83,5 tours par minute; la puissance de la machine est alors réduite à environ 2 000 chevaux.

Alternateur. — L'alternateur à courants triphasés, dont les figures 4 et 5 représentent des vues extérieures et les figures 6 et 7 des coupes perpendiculaires à l'axe et par l'axe, a été étudié et construit, comme nous l'avons dit, par MM. Siemens et Halske, de Berlin. Sa



puissance normale apparente est de 2 000 kilovolts-ampères, mais elle peut être poussée au besoin jusqu'à 2 500 kilovolts-ampères, c'est-à-dire être surchargée de 25 p. 100.

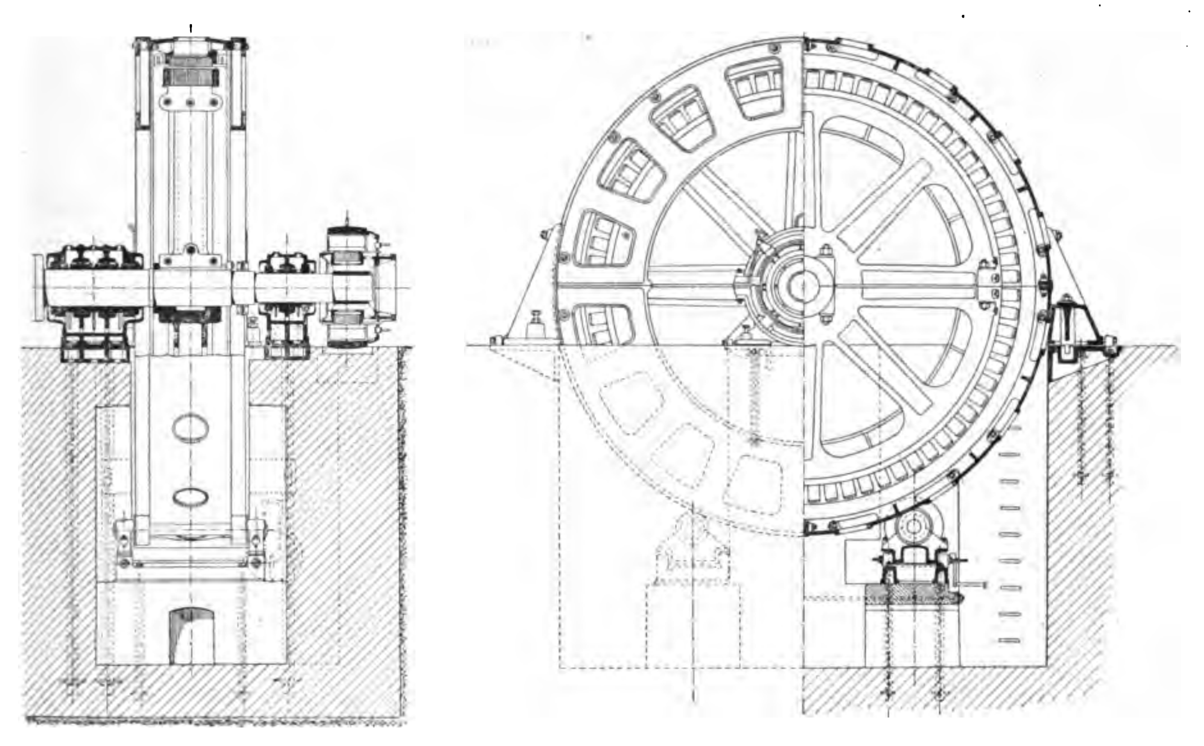


Fig. 4 et 5. — Ensembles avec coupes de l'alternateur Siemens et Halske.

La tension aux bornes est de 2 000 à 2 200 volts et l'intensité par phase de 525 ampères à la tension la plus élevée.

La fréquence est de 50 périodes par seconde.

Inducteur. — La carcasse inductrice en fonte, d'une largeur de 60 cm, a été coulée en

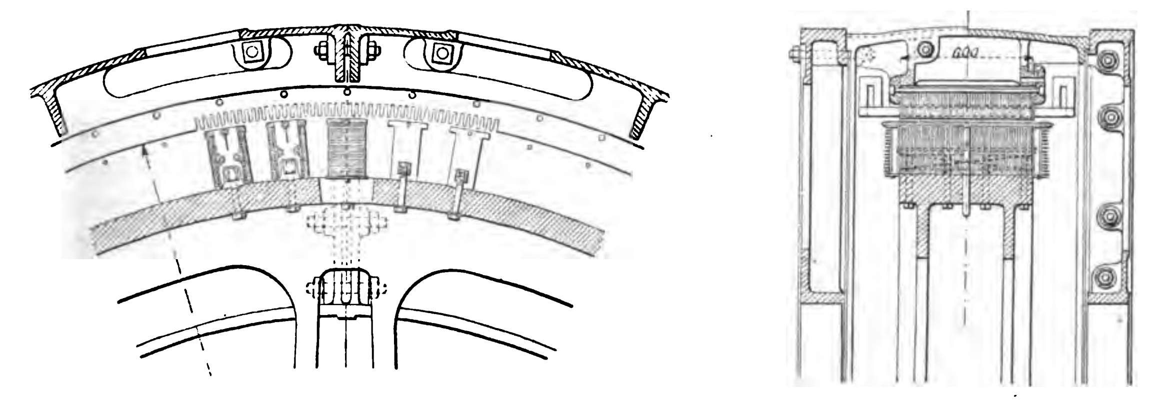


Fig. 6 et 7. — Coupes par l'axe et perpendiculaire à l'axe de l'alternateur Siemens et Halske.

deux parties assemblées par 8 boulons : 4 au moyeu et 4 à la jante, ces derniers logés dans des oreilles placées extérieurement.

Cette carcasse est formée d'une jante à section rectangulaire de 12 cm d'épaisseur,

réunie au moyeu par 8 bras solidement nervurés à section en double T. Elle est percée de fentes radiales dans un plan perpendiculaire à son axe. Ces fentes, d'une largeur de 3 cm environ, se répartissent sur la largeur de trois pôles, sauf à l'endroit des joints des deux parties du volant; elles sont destinées à la ventilation de l'induit et de l'inducteur.

L'alternateur a un arbre spécial manchonné à celui du moteur à vapeur entre l'un des paliers de l'alternateur et le volant de la machine; l'entraînement se fait par 3 clavettes à 120°.

Les 72 pôles inducteurs sont en tôles, de section rectangulaire; ils sont disposés radialement sur la carcasse inductrice; ils sont maintenus par 4 vis traversant complètement celle-ci et venant se visser dans une barre rectangulaire en acier, glissée dans un évidement pratiqué dans le noyau.

Chaque pôle est formé de deux paquets de tôles placés l'un à côté de l'autre et séparés par un intervalle de 2 cm environ, à l'aide de cales permettant le passage de l'air pour la ventilation de l'induit et de l'inducteur.

Pour faciliter le refroidissement des bobines inductrices, celles-ci sont bobinées sur des carcasses en bronze évidées à l'intérieur et faisant saillies en dehors de la couronne. L'évidement constitue ainsi un canal radial où l'air circule librement pendant la rotation. Ces carcasses sont fixées aux noyaux polaires par des boulons traversant ceux-ci de part en part et servant conjointement avec des rivets à maintenir les tôles inductrices serrées.

Chaque noyau porte à sa partie inférieure une saillie qui vient se loger dans une rainure pratiquée à la surface de la carcasse inductrice.

L'enroulement de chaque pôle est formé à l'aide d'une bande de cuivre sur champ et les spires sont isolées entre elles au moyen de toile imprégnée de matière isolante.

Le nombre de spires de chaque bobine est de 40 et les dimensions de la bande sont de 4 mm sur 23 mm, soit une section de 92 mm². La résistance de toutes les bobines inductrices en série est de 1 ohm et le poids total du cuivre sur l'inducteur de 4 000 kg.

Le diamètre extérieur de l'inducteur est de 5,972 m et la largeur des tôles inductrices de 60 cm.

La vitesse tangentielle n'atteint que 26 m par seconde.

Le poids total de l'inducteur est de 38 000 kg.

Deux bagues servent de prise de courant à l'inducteur.

Induit. — La carcasse de l'induit supportant les tôles est formée d'une caisse cylindrique en fonte en quatre morceaux assemblés par des boulons. Sur cette caisse sont boulonnées deux équerres qui reposent sur deux supports horizontaux fixés dans la maçonnerie.

Les piles de tôles sont fixées entre deux nervures à l'aide de boulons.

La carcasse induite est percée de trous pour la ventilation et porte deux couronnes latérales protégeant à la fois l'induit et l'inducteur.

La principale particularité de construction de l'induit réside dans la possibilité de pouvoir régler l'entrefer après usure des coussinets ou après un déplacement quelconque.

A cet effet la partie extérieure de la carcasse induite a été tournée soigneusement et vient reposer sur deux rouleaux placés symétriquement par rapport à un plan vertical passant par l'axe de la dynamo. Ces rouleaux, comme le montre la figure, peuvent être déplacés dans le sens vertical au moyen d'une vis sans fin actionnée par une manivelle.

Si l'on agit simultanément sur les deux rouleaux, on peut déplacer l'induit dans le sens vertical et parer ainsi à l'usure du coussinet. Si l'on élève seulement un des rouleaux, on obtiendra un déplacement dans une direction oblique et par la combinaison des mouvements des deux rouleaux, on obtiendra facilement un déplacement horizontal de l'induit.



Pour empêcher celui-ci de se déplacer sur les rouleaux après le réglage, on fixe la couronne extérieure à l'aide de boulons après les équerres en fonte dont nous avons parlé.

La largeur des tôles induites est de 60 cm et leur hauteur radiale de 14,3 cm. Comme pour l'inducteur les piles de tôles sont partagées en deux parties égales maintenues entre elles à la distance voulue par des cales.

L'enroulement induit est réparti dans 648 rainures de 1,3 cm de longueur sur 5,5 cm de hauteur radiale.

Chacune des trois phases comporte trois barres par pôle, c'est-à-dire une dans chaque encoche. Les dimensions des conducteurs induits sont de 7 mm de largeur et 4,4 cm de hauteur; ces conducteurs sont logés dans des tubes en mica comprimé de 3 mm d'épaisseur.

Toutes les barres d'une même phase sont réunies en série à l'aide de connecteurs en forme de V, recouverts simplement d'une couche de verni isolant.

L'enroulement est ondulé et est par suite analogue à ceux des alternateurs à basse tension ; la tension entre deux développantes voisines d'une même phase peut au maximum atteindre 425 volts, tension qui permet encore, à la rigueur d'employer des développantes en barres non isolées autrement qu'avec un verni.

Les trois phases sont montées en étoile.

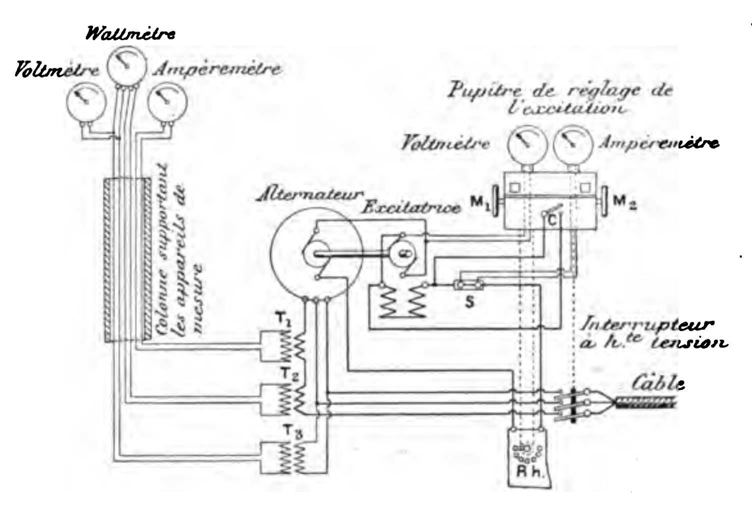


Fig. 8. — Schéma des connexions des appareils des mesures et de l'excitatrice de l'alternateur Siemens et Halske.

La résistance de chaque phase est de 0,014 ohm. La puissance perdue dans l'enroulement induit est par suite de $3 \times 0{,}0144 \times 525^2 = 15700$ watts soit 0,8 p. 100 de la puissance totale.

Le poids du cuivre de l'induit est de 2400 kg. ; le poids de l'induit atteint 44 tonnes.

Le diamètre d'alésage de l'induit est de 6 m ce qui assure un entrefer de 14 mm.

Le diamètre extérieur de l'induit est de 6,80 m, sa largeur totale de 150 cm.

Excitatrice. — Le courant d'excitation de l'alternateur est fourni par une excitatrice calée sur l'arbre de l'alternateur et en porte à faux. C'est une dynamo-série à 8 pôles avec induit tambour enroulé en quantité. Le courant est recueilli par 8 paires de balais en charbon dont les porte-balais sont d'un modèle spécial permettant de vérifier la pression sur les lames du collecteur. Le support des porte-balais est formé d'une couronne que l'on peut déplacer à l'aide d'une vis tangente.

La puissance normale de l'excitatrice est de 44 kilowatts, 210 ampères, sous 210 volts.

Tableau. — Le tableau de distribution (fig. 8) de la génératrice est réduit à une colonne de fonte de 4,3 m de hauteur (que l'on aperçoit sur la droite de la figure 1) à l'extrémité de laquelle sont disposés un voltmètre, un ampèremètre et un wattmètre à lecture directe.

Aucun de ces appareils n'est traversé par le courant principal ; tous les trois sont munis de transformateurs réducteurs, un en dérivation entre deux des conducteurs pour le voltmètre et deux en série sur un des conducteurs.



Un interrupteur tripolaire placé dans la fosse de l'alternateur permet de couper le courant sur le réseau.

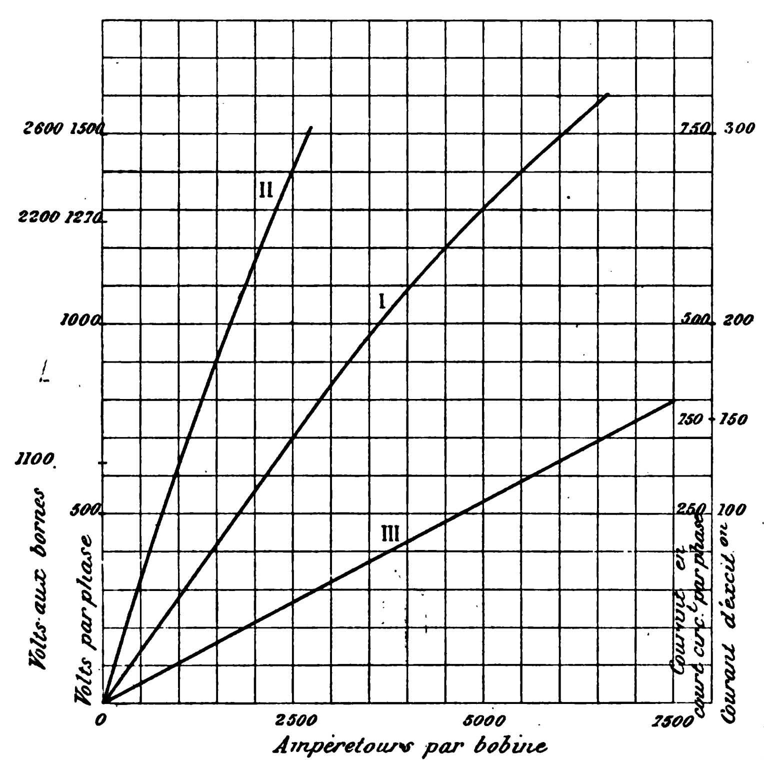


Fig. 9. — Caractéristiques de l'alternateur Siemens et Halske.
I. Caractéristique à vide.
II. Caractéristique en court-circuit.
III. Correspondance des ampèretours au courant d'excitation.

Le rhéostat de réglage de l'alternateur est également logé dans la fosse de la machine. L'interrupteur tripolaire et le rhéostat de réglage sont commandés à l'aide de chaînes par deux volants M_1 et M_2 placés de chaque côté d'un petit pupitre sur lequel sont disposés le voltmètre et l'ampèremètre du courant d'excitation.

Le couvercle du pupitre porte des petites fenêtres permettant d'apercevoir des divisions indiquant la partie du rhéostat en service.

Le pupitre porte en outre un commutateur C qui permet en cas d'accident de mettre en court-circuit les inducteurs de l'excitatrice. On évite ainsi d'interrompre le courant inducteur, ce qui, étant donné l'énorme self-induction du circuit qu'il traverse, pourrait ne pas être sans danger pour la machine.

Résultats d'essais. — La figure 9 donne les caractéristiques à vide et en court-circuit de l'alternateur Siemens et Halske en fonction des ampèretours par bobine inductrice. La droite III indique la correspondance entre les ampèretours et le courant d'excitation.

On voit que cette machine appartient à la classe, peu répandue à l'Exposition, des alternateurs à faible saturation.

L'intensité du courant d'excitation pour la marche à vide à 2200 volts est de 120 ampères. En charge avec un facteur de puissance égal à l'unité, l'intensité du courant d'excitation est de 135 ampères.

Le courant d'excitation nécessaire pour obtenir en court-circuit l'intensité normale de 525 ampères par phase, est de 42 ampères et correspond à une tension induite égale à un peu plus du tiers de la tension normale.

RÉGULATEURS DE VITESSE DES TURBINES HYDRAULIQUES

Des multiples problèmes mécaniques de l'heureuse solution desquels dépend le succès d'une installation électrique, le plus complexe est, sans nul doute, celui de la régularisation de la vitesse des turbines hydrauliques. C'est aussi un de ceux qui ont excité le plus les recherches des spécialistes et l'on rencontre à l'Exposition, des modèles de la plupart des systèmes, plus ou moins parfaits, que proposent aujourd'hui les constructeurs (1).

(1) Avant toute description, nous renverrons le lecteur aux remarquables articles qu'a publiés M. Rateau dans la

Rappelons que le régulateur doit remplir deux fonctions distinctes : assurer la constance de la vitesse en régime permanent, et rétablir dès que le régime se trouble, rapidement et avec le moins d'oscillations possible, l'équilibre entre la puissance motrice de la turbine et la puissance qui lui est demandée.

Au point de vue du mode d'action, les régulateurs peuvent se classer de la façon suivante :

1° *Régulateurs proportionnant le travail moteur au travail résistant.* — Leur action

Fig. 1. — Turbine à haute pression et appareils de régulation de la maison Escher Wyss.

consiste, soit à faire varier le débit utile de la turbine, en laissant constant le débit total, et en consentant à un déchet d'eau, — c'était le système employé à l'origine pour le réglage de la plupart des roues du type Pelton (ajutage dévié), — soit à conserver l'égalité entre le débit utile et le débit total et agir sur les sections de passage, par l'ouverture ou la fermeture de vannages. Ce dernier mode d'action réduit au minimum la dépense d'eau, mais lorsque les chutes sont assez hautes, la fermeture des vannages provoque un coup de bélier qui peut être dangereux pour les conduites ; le régulateur doit alors se compliquer

---

Revue de mécanique (voir en particulier t. VI, n° 4, 30 avril 1900) dans lesquels l'auteur expose des théories nouvelles et profondément intéressantes. Il faut citer aussi l'étude de M. Allan V. Garratt, relative à la pratique américaine (*Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, t. XVI, p. 381-427. Voir aussi *L'Éclairage Électrique*, t. XX, p. 428).

***



de dispositifs destinés à parer à ce danger : cloches à air, soupapes chargées, tube d'équilibre, etc., etc.

MM. Escher, Wyss et Cie arrivent au même but par un dispositif intéressant de régulateur à appareil de réglage de pression qui est une combinaison du système à débit constant et du système à débit variable.

2° *Régulateurs créant éventuellement un supplément de résistance destiné à absorber l'excès du travail moteur.* — Ces appareils laissent fixe le débit de la turbine : ce sont les régulateurs à frein hydraulique, électrique ou magnétique.

Quel que soit le régulateur, il comporte avant tout un appareil qui contrôle la vitesse de la turbine. C'est le plus souvent un tachymètre à boules et à axe vertical. Parfois, ce même type de tachymètre est disposé avec axe horizontal. Dans le régulateur Ribourt, le contrôle est effectué par un compteur d'eau. Parfois, on utilise les propriétés du courant électrique engendré : à La Chaux-de-Fonds, avec le système de distribution à intensité constante, le tachymètre est remplacé par un moteur dont le couple normal est équilibré par des ressorts : à Gênes, avec le même système, on emploie une masse de fer aspirée par un solénoïde (1)

Une déformation du tachymètre, par rapport à une certaine position normale, est le point de départ du réglage. Mais la puissance nécessaire pour mouvoir les organes destinés à effectuer ce réglage est si notable qu'on interpose toujours entre eux et le tachymètre une source d'énergie auxiliaire, qui peut être la turbine elle-même, mais est généralement constituée d'un corps de presse dans lequel se meut un piston, sous l'action d'une pression d'huile ou d'eau ; de plus, afin que le déplacement de l'organe de réglage soit une fonction, toujours la même, de la déformatiou du tachymètre, on asservit le moteur auxiliaire (2).

Lorsqu'on emploie des servomoteurs à eau sous pression, il est de toute nécessité de ne laisser entrer dans les cylindres que de l'eau parfaitement pure ; ceci justifie l'adjonction de filtres que l'on dispose avant le tiroir du servomoteur.

Il est nécessaire que ces filtres puissent être nettoyés en marche : aussi, les monte-t-on par paires si l'eau est trop boueuse.

Avant de commencer la description de quelques-uns des appareils exposés, nous tenons à remercier d'une façon particulière les constructeurs qui ont bien voulu répondre à notre appel et mettre à nos dispositions les descriptions, photographies et dessins qui nous ont servi à préparer les articles relatifs à la régularisation de la vitesse des turbines hydrauliques.

Appareils pour turbines a haute pression et augets conchoïdes de la maison Escher Wyss (3) (fig. 1).

1° *Régulateur hydraulique automatique* (fig. 2). — Le schéma montre assez bien la dis-

(1) Bulletin de la *Société internationale des Electriciens*, mai 1898, p. 239 ; janvier 1900, pp. 32 et 65 ; voir aussi l'Exposition de MM. les professeurs Prazil-Stodola-Wyssling, cl. 23 (Palais de l'Electricité 1er étage, côté la Bourdonnais.

(2) *Écl. Élect.*, t. VII, p. 197.

(3) Exposés par cette maison à l'Exposition Universelle, gr. IV, cl. 20, rez-de-chaussée du Palais de la Mécanique, côté Suffren, section suisse.



position du tachymètre et de son frein à huile *f*. Ce tachymètre est construit pour une marche à grande vitesse ; il est chargé par un ressort *r* et les boules sont mobiles sur des couteaux d'acier trempé.

L'organe essentiel est la soupape de réglage S, commandée directement par le tachymètre. Cette soupape se compose d'un corps séparé en trois compartiments par un tiroir cylindrique de forme spéciale *dp*. Les compartiments inférieur et supérieur sont remplis d'eau sous pression qui a passé par le filtre. La communication entre eux est assurée par un canal de faible section creusé dans le tiroir lui-même. Le compartiment supérieur présente un orifice obturé par la soupape à pointeau *s* reliée à la douille du tachymètre. Cette soupape *s* peut mettre ce compartiment en communication avec l'évacuation, et sa forme conique permet d'obtenir des sections d'écoulement variables suivant l'amplitude du mouvement. Enfin, le corps de la soupape S porte deux tubulures, l'une en communication avec l'évacuation, l'autre avec la chambre supérieure du cylindre où se meut le piston P.

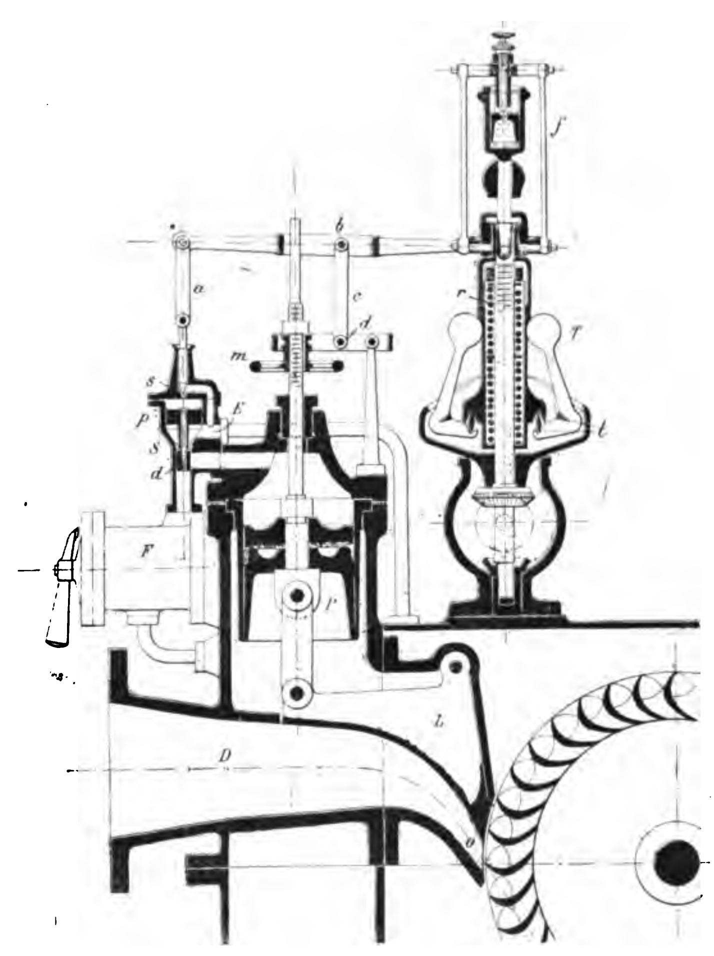


Fig. 2. — Régulateur hydraulique automatique Escher Wyss.

Le piston P est, lui-même, constamment soumis par dessous à la pression de l'eau motrice ; il est relié à la languette L qui participe à tous ses mouvements en diminuant l'épaisseur de la veine liquide injectée dans les augets, sans modifier sa largeur ni sa direction.

Le tiroir *dp* est en équilibre sous l'action de la pression de l'eau motrice qui agit de bas en haut, et de la pression qui existe dans la chambre supérieure, laquelle, malgré les communications, n'est pas la pression de l'eau motrice, puisque l'évacuation plus ou moins grande contrôlée par le pointeau *s* crée une dépression dans cette enceinte. Les sections des surfaces inférieure et supérieure des tiroirs, celle du canal central, la forme du pointeau et son siège sont calculés de telle façon que, par la marche normale, le tiroir ait la position indiquée sur la figure, c'est-à-dire, obture la chambre située au-dessus de P.

Si maintenant, la vitesse vient à diminuer, le manchon du tachymètre descend, le pointeau *s* se soulève, la dépression au-dessus du tiroir augmente, celui-ci remonte, la pression motrice règne au-dessus de P, comme au-dessous de lui et il peut alors se déplacer vers le bas en obéissant à l'action de l'eau sur la languette L, ce qui a pour effet d'augmenter le débit.

Si au contraire la vitesse s'accroît, le manchon du tachymètre monte, le pointeau *s* s'abaisse, la dépression au-dessus du tiroir diminue, celui-ci descend et la chambre au-dessus de P se trouve en communication avec l'évacuation. Le piston P remonte donc sous l'action de l'eau motrice et diminue le débit de la turbine.

Le schéma fait bien comprendre comment est réalisé l'asservissement du tachymètre et de la languette.

2° *Appareil de réglage de pression pour turbines à conduite forcée* (fig. 3 et 4). — Le principe de cet appareil est le suivant : au moment même où se produit la fermeture du vannage, un orifice de vidange s'ouvre automatiquement, de manière que, à cet instant précis, la vitesse de l'eau dans la conduite forcée ne varie pas, et par suite tout coup de bélier est évité.

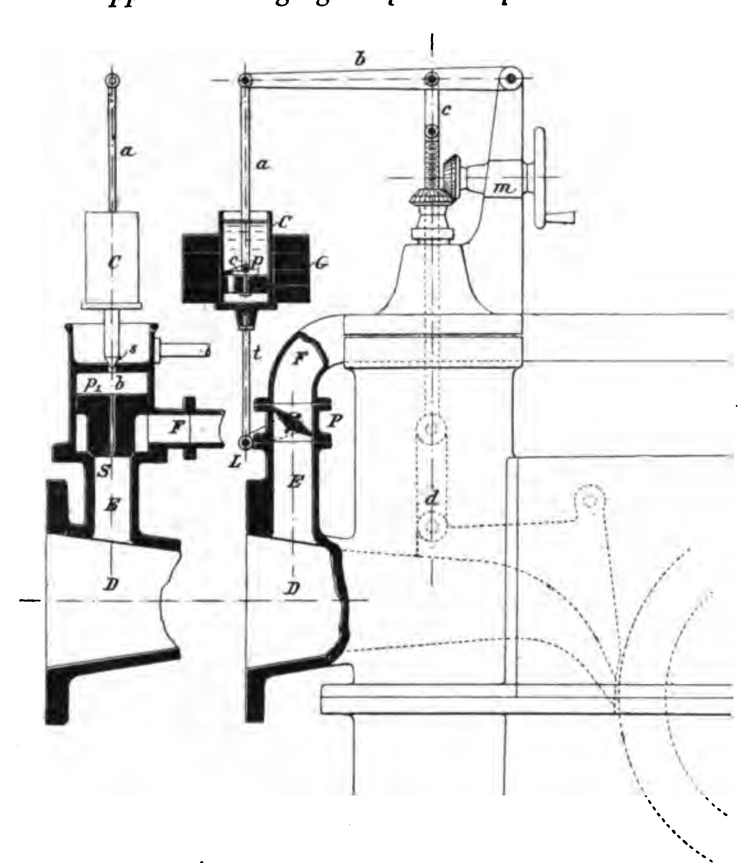


Fig. 3 et 4. — Régulateur de pression Escher Wyss.

Mais afin d'économiser l'eau, l'appareil est pourvu d'un dispositif automatique qui assure une fermeture lente de l'orifice de vidange.

On reconnaît sur la figure les dispositions essentielles du distributeur de la turbine, mais à la place de la commande automatique de l'ajutage *o*, que nous venons d'étudier (fig. 2), on a figuré ici un réglage à la main.

La conduite d'amenée D porte un embranchement, E, F, qui peut être obturé par un papillon P, et qui communique avec le canal de fuite de la turbine. L'axe du papillon porte un levier L auquel vient s'attacher une tige *t*, supportant un cylindre C, rempli d'huile et chargé d'un poids [G. A l'intérieur du cylindre baigne un piston *p*, lequel est muni d'un orifice obturé par un clapet *c*, percé lui-même d'un trou de faible diamètre. Ce piston est relié par un système de leviers à la tige qui commande la languette du distributeur.

Si l'ajutage vient à être fermé, la tige *a* s'élève, et le piston *p*, également ; comme le clapet *c* reste fermé et que le trou dont il est percé est de faible diamètre, l'élévation du piston entraîne l'élévation du cylindre C et par suite l'ouverture de la conduite E F : l'eau motrice s'écoule donc directement en quantité notable dans le canal de fuite. Mais peu à peu, sous l'influence de la masse G, l'huile passe au-dessous du piston *p*, et le cylindre chargé C redescend lentement en fermant le papillon P.

Si, au contraire, l'ajutage venait à être ouvert, le piston *p* descendrait dans le cylindre, et ce mouvement se ferait sans aucune difficulté, puisque le clapet *c* s'ouvrirait en grand.

Pour assurer à l'appareil un fonctionnement plus sûr et plus précis, et aussi pour substi-

tuer au papillon un organe de fermeture plus satisfaisant, on a remplacé le contrepoids et le papillon par un dispositif à pression d'eau figuré sur le schéma de gauche et qui fonctionne absolument comme la soupape S de la figure 2.

L'appareil de réglage de pression facilite le fonctionnement du régulateur automatique, pour lequel les variations instantanées de pression constituent un élément de dérangement. On peut, par son emploi, se dispenser plus facilement de volant.

3° *Filtre revolver* (fig. 5 à 7). — Le filtre a pour mission d'arrêter les impuretés qui pourraient entraver le jeu des organes délicats des appareils de réglage que nous venons d'étudier.

Il comporte un corps cylindrique F, fermé par deux couvercles, dont l'un porte une tubulure S et l'autre une simple ouverture par laquelle passe l'axe de rotation du filtre. Sur le corps cylindrique sont ménagées deux autres tubulures E et R.

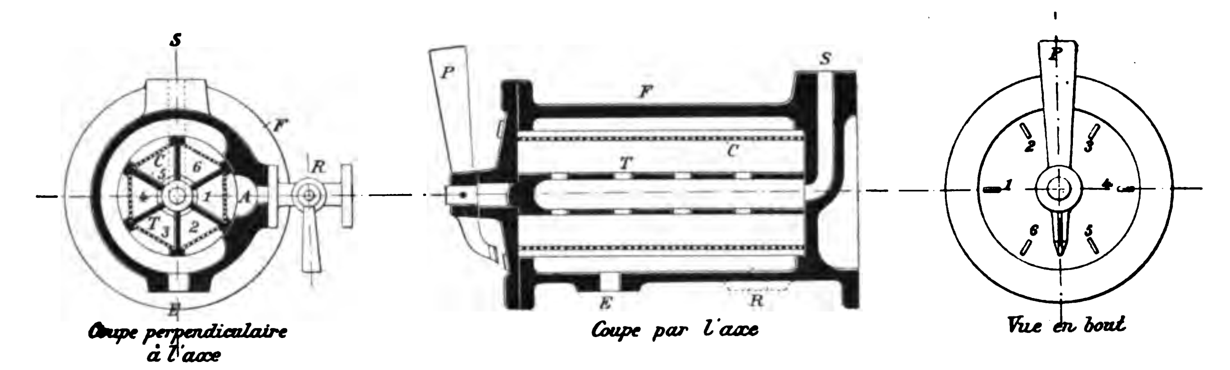


Fig. 5 à 7. — Filtre revolver Escher Wyss.

Le filtre proprement dit est composé d'un cylindre central percé de trous, fermé à l'une de ses extrémités et ouvert à l'autre en face de la tubulure S. Régulièrement réparties autour de ce cylindre divergent six cloisons pleines ; les bords extrêmes de deux cloisons adjacentes sont réunies par un crible en tôle perforée C, on a ainsi un tambour hexagonal T formé de six chambres à section triangulaire. Le cylindre F est disposé de telle manière, par rapport au tambour hexagonal, que l'eau non filtrée, arrivant par E, traverse la tôle perforée de cinq des chambres et s'échappe par le cylindre central et la tubulure S. La tôle perforée de la sixième chambre se trouve vis-à-vis d'une antichambre, à laquelle aboutit le robinet de purge R. Pour décrasser le filtre, on ouvre ce robinet : un peu d'eau filtrée passe à l'inverse par les tôles à nettoyer et entraîne les dépôts boueux.

La poignée P permet de faire tourner le filtre de 60° et de le nettoyer ainsi rapidement.

RÉGULATEUR A RÉSISTANCE HYDRAULIQUE SYSTÈME RUSCH SENDTNER [1].

Ce régulateur (fig. 8 et 9) est du type des appareils à freinage, il est fort simple. Une chambre A peut être mise en communication avec une caisse à eau B au moyen d'une soupape S soutenue par un système de leviers doubles L et un bras l.

L'ouverture de cette soupape se trouve commandée, à l'aide des leviers L, par la douille d'un tachymètre à ressort T, et à axe horizontal; de la sorte, l'amplitude de la levée de la

[1] Trois appareils de ce système sont exposés par la maison J. Ig. Rusch, de Dornbirn, au rez-de chaussée du Palais de l'Électricité (section autrichienne).



soupape reproduit proportionnellement le déplacement de la douille du tachymètre à partir d'une certaine position d'équilibre. Les oscillations sont entravées par un amortisseur à huile H. En dehors de la soupape C, deux fenêtres F, F', mettent les deux chambres A et B en communication permanente. Dans la chambre A tourne une roue à palette C, mue par une petite quantité d'énergie empruntée à la machine qu'il s'agit de régulariser. Pour actionner cette roue, on peut se servir d'un moteur synchrone, ce qui est une médiocre solution, le moteur devant être dimensionné par la puissance maxima que le régulateur peut avoir à freiner ; il est plus commode d'avoir recours à une poulie P actionnée par une courroie ; on emploiera de préférence l'accouplement direct du régulateur avec le moteur toutes les fois que cela sera possible.

Le fonctionnement de l'appareil est, dès lors, facile à saisir. Pour la vitesse normale la

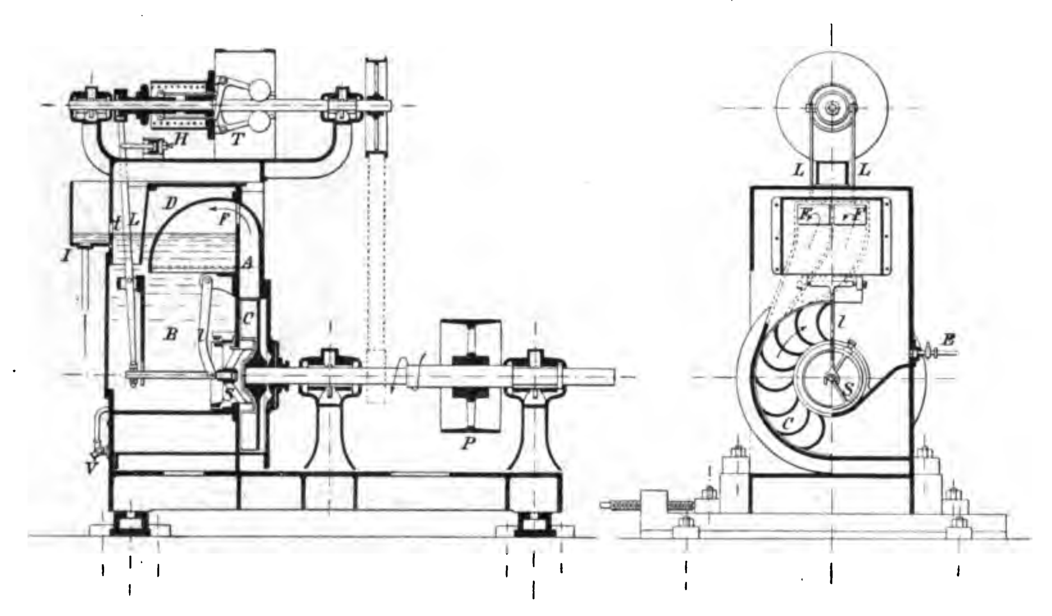


Fig. 8 et 9. Régulateur Rusch Sendtner à résistance hydraulique.

soupape S est fermée et la roue à palettes tourne en absorbant un travail constant. Si la vitesse s'accroît, la soupape S s'ouvre, l'eau arrive avec plus ou moins d'abondance dans la chambre A, la roue C la met alors en vitesse et la rejette dans la chambre B à travers les multiples résistances créées par la forme contournée des conduites qui aboutissent aux fenêtres F et au dôme D.

Le travail ainsi absorbé est transformé en chaleur : il est donc nécessaire de pouvoir remplacer l'eau. A cet effet on utilise la tubulure latérale E, mais il faut avoir soin de n'envoyer à l'appareil que de l'eau très propre. Le trop-plein s'écoule par la tubulure I ; il est contrôlé par l'ouverture *t*. Enfin la tubulure V sert pour la vidange et l'appareil est monté sur glissières, afin qu'on puisse s'il y a lieu régler la tension de la courroie qui s'enroule sur la poulie P.

Il est intéressant de remarquer que la soupape n'est pas soumise à des efforts importants ni variables dans de grandes limites. D'autre part, pour un appareil de type donné, la puissance de freinage est fonction du nombre de tours de la roue à aubes et de l'ouverture de la soupape correspondant à la variation de vitesse à laquelle il faut s'opposer, c'est-à-dire que la puissance de freinage est aussi en fonction du nombre de tours du régulateur.



Quelle que soit la relation existant entre ces nombres de tours, on comprend qu'il suffit de les combiner de façon correcte pour approprier un même appareil au contrôle de moteurs de puissances bien différentes. Pratiquement les modèles sont tels que la puissance maximum de freinage de chacun d'eux augmente proportionnellement au carré de la vitesse de la roue à aubes. C'est ainsi qu'un appareil d'un certain type peut freiner 20, 50, 100 et 150 chevaux, si l'arbre de la roue à aubes fait respectivement 200, 360, 500 et 600 tours par minute.

La régulation se fait donc très rapidement, puisque le travail résistant, artificiellement créé est d'autant plus considérable que l'augmentation de vitesse à laquelle on veut s'opposer est ellemême plus grande. Aussi le constructeur garantit-il un écart de 2,5 p. 100 dans le nombre de tours du moteur pour le passage de la pleine charge à la marche à vide : par contre, en marche normale le régulateur, avec commande par courroies, absorbe 4 à 5 p. 100 de la puissance maximum pour laquelle il est établi, mais ceci n'a qu'une importance relative pour une installation hydraulique. Disons enfin que le modèle auquel nous faisions allusion plus haut a comme dimensions d'encombrement en plan 2,70 m × 1,75 m, et une hauteur de 2,30 m.

(A suivre.)

POMPE EXPRESS RIEDLER MUE DIRECTEMENT PAR MOTEUR A COURANTS TRIPHASÉS [1].

La figure 1 montre l'installation générale de la pompe exposée. C'est une pompe à piston plongeur.

Fig. 1. — Pompe express Riedler, commandée par moteur asynchrone de l'Allgemeine Elektricitæts Gesellschaft.

[1] Exposée par l'Allgemeine Elektricistät Gesellschaft, dans la classe 63. (Rez-de-chaussée du Palais des Mines).

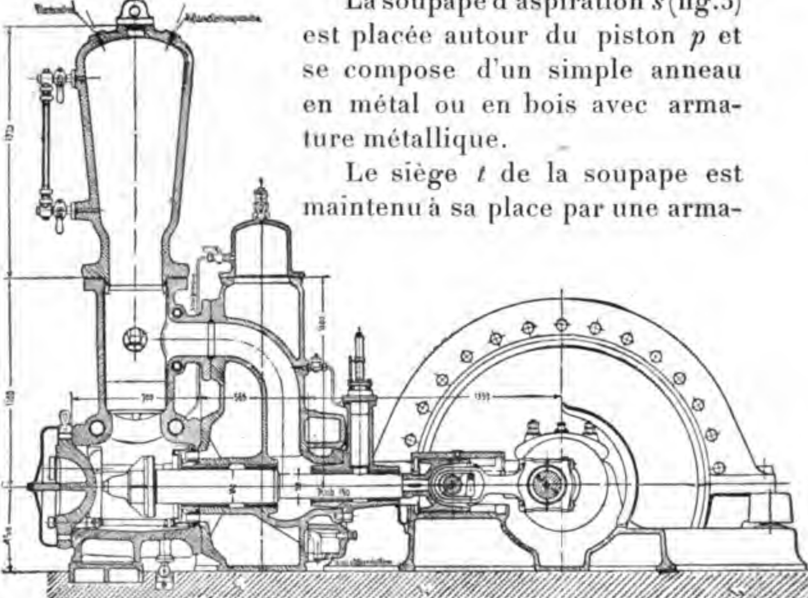
Le piston p marchant en sens inverse à la flèche (fig. 2) la soupape s s'ouvre, et le liquide à élever s'écoule de la chambre d'aspiration dans le corps de pompe h. Dans le mouvement contraire, c'est-à-dire celui indiqué par la flèche, le liquide soulève la soupape de refoulement et pénètre dans la conduite de refoulement munié du réservoir à air w.

La marche rapide de la pompe a été rendue possible par l'adoption d'organes simples, de soupapes particulières et d'un réservoir w_1, plus grand que d'ordinaire, sur l'aspiration.

La soupape d'aspiration s (fig. 3) est placée autour du piston p et se compose d'un simple anneau en métal ou en bois avec armature métallique.

Le siège t de la soupape est maintenu à sa place par une arma-

Fig 2. — Coupe verticale de la pompe.



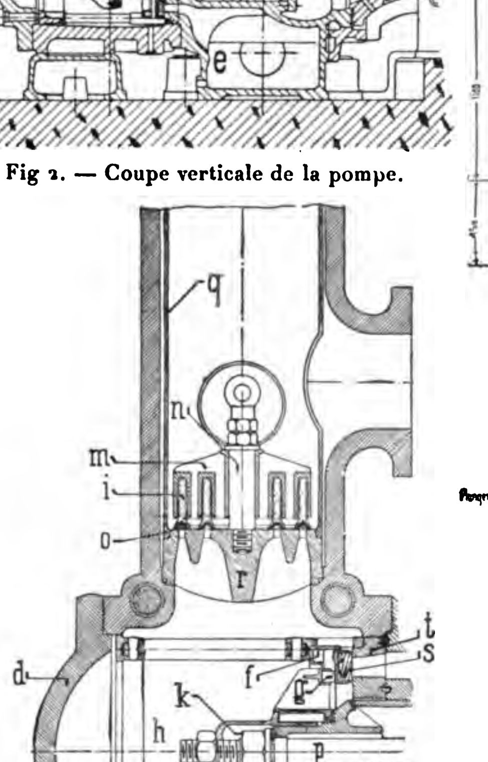


Fig. 3. — Détails des soupapes.

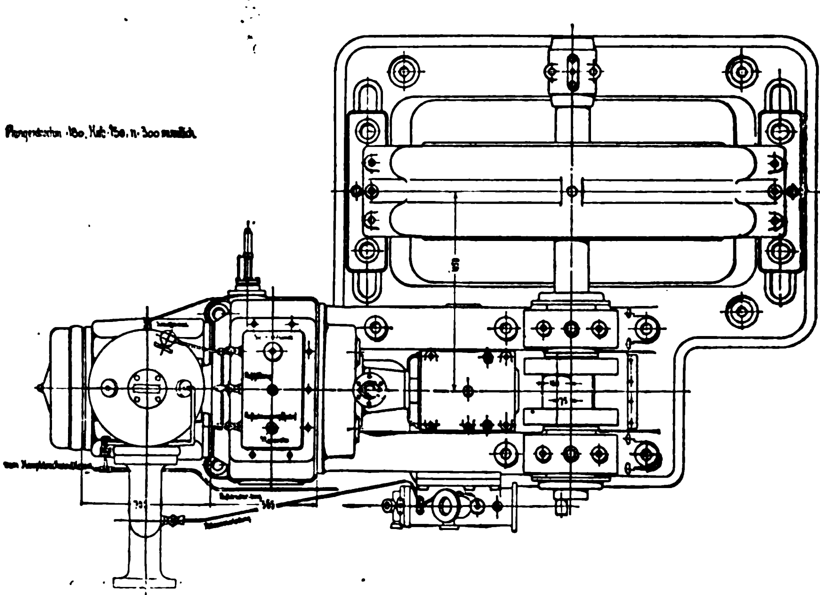


Fig. 4 et 5. — Elévation et plan de l'ensemble pompe moteur.

ture munie de tiges *b*, qui sert de guide à la soupape et supporte son faible poids; on consolide le tout au moyen des boulons *c* adaptés au couvercle *d*. Grâce à une bague de contact *f* en caoutchouc, le jeu s'effectue avec douceur et sans bruit.

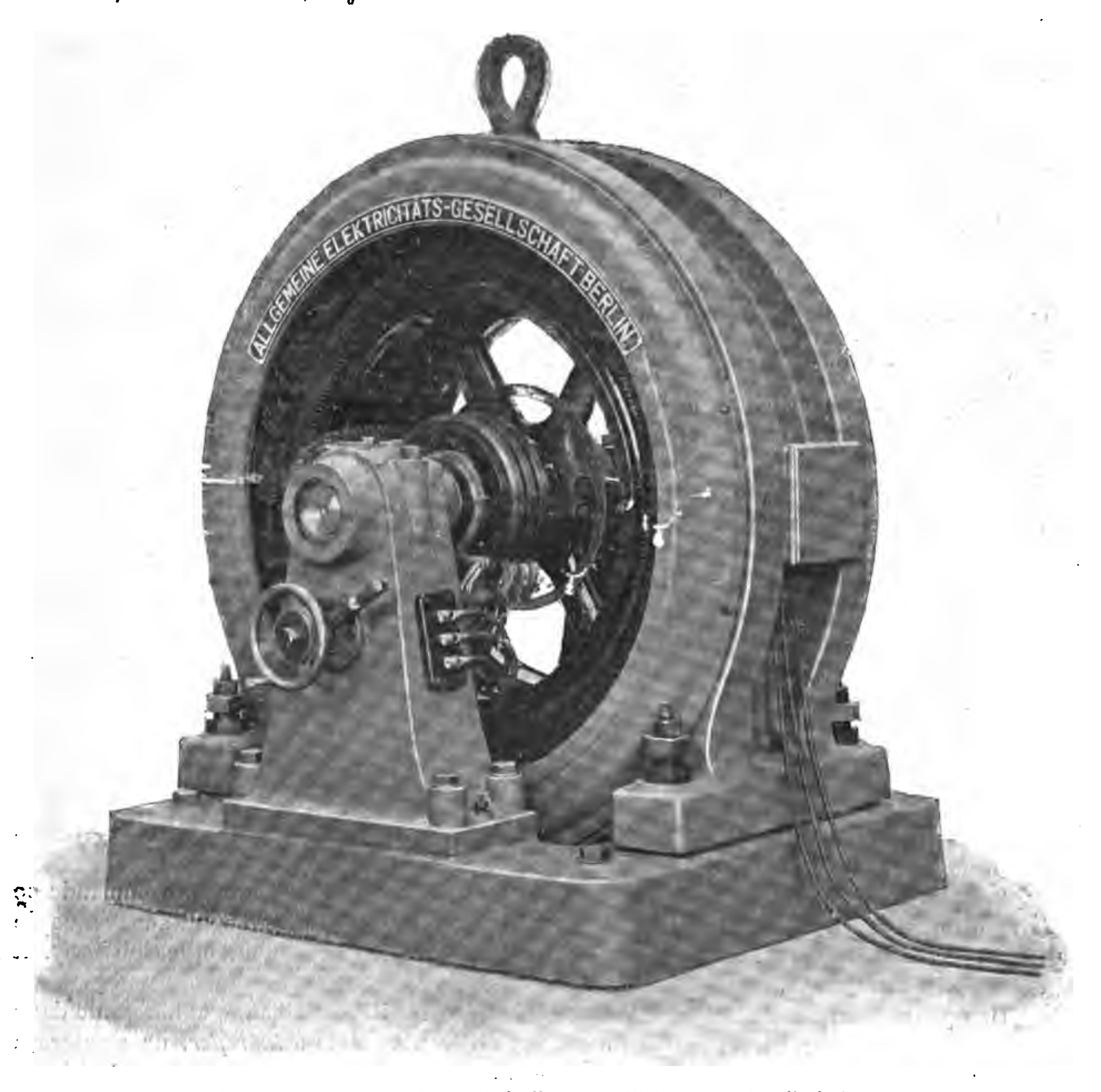


Fig. 6. — Moteur asynchrone de l'Allgemeine Elektricitæts Gesellschaft.

Comme la soupape n'est encombrée d'aucun ressort et que son poids est entièrement supporté par le guide, elle n'oppose presque aucune résistance à l'arrivée de l'eau. Elle reste ouverte jusqu'à la fin de la période d'aspiration et se trouve ensuite fermée directement par la tête *k* du piston exactement au point mort de la manivelle. La tête du piston est aussi munie d'un anneau en caoutchouc *g* qui adoucit son action et sert de contact.

La figure 3 se rapporte au moment de la fermeture : la figure 2 à la période de refoule-

****

ment. On voit que le changement des soupapes peut se faire facilement et rapidement.

La soupape de refoulement se compose d'anneaux reposant sur le siège *r*. Ils sont chargés par des ressorts en caoutchouc *i* maintenus fixes par l'armature *m* et le boulon à vis *n*.

Grâce à la vis du réservoir *w* (fig. 2) et aussi au tubage *q* (fig. 3), la soupape *r* est maintenue à sa place. On peut retirer la soupape après avoir enlevé le réservoir *w*.

Les anneaux des soupapes sont très simples et peuvent, sans beaucoup de frais, être approvisionnés en grande quantité; les parties en bois peuvent presque toujours être réparées sur place.

L'emploi de ces parties en bois présente l'avantage de conserver les soupapes intactes pendant plus longtemps, puisqu'on reporte toute l'usure sur le bois lui-même.

La pompe est munie, sur l'aspiration d'un réservoir à air w_1 (fig. 2) où le niveau d'eau se tient toujours au-dessus de la soupape d'aspiration. On évite ainsi tout arrêt dans la colonne d'eau aspirée, puisque l'eau du réservoir s'écoule toujours avec une certaine pression.

Comme cela arrive pour toutes les machines à grande vitesse, la pompe express Riedler est plus petite et plus légère que les pompes lentes, en usage jusqu'ici.

La pompe exposée à l'Exposition universelle (fig. 4 et 5) est attaquée directement par un moteur asynchrôns, à courants triphasés de 75 chevaux sous 190 volts, tournant à raison de 290 tours par minute (fig. 6), elle peut refouler à 270 m de hauteur un volume d'eau de 1 100 litres. Elle est à un seul cylindre; le diamètre du plongeur est de 180 mm, sa course 150 mm; la hauteur d'aspiration peut atteindre 5 m, mais à l'Exposition, elle n'est que de 2,50 m : le rendement est de 87 p. 100.

Le démarrage se fait très facilement : il suffit que le niveau de l'eau dans le réservoir d'air d'aspiration soit plus haut que la soupape d'aspiration.

Comme renseignement, nous dirons encore que le prix de la pompe seule est de 12 000 francs environ.

POMPE A COMMANDE ÉLECTRIQUE EHRHARD ET SCHMER (1)

Cette pompe d'épuisement à commande électrique directe se compose de trois systèmes identiques de pompes à piston plongeur à simple effet (fig. 1 à 3).

Les plongeurs ont un diamètre de 105 mm et une course de 200 mm; la commande se fait par un arbre à trois coudes et par bielles. Les 4 paliers de l'arbre moteur sont venus de fonte avec le bâti, lequel a la forme d'une auge dans laquelle se rassemblent les huiles ayant déjà servi au graissage.

Une petite pompe fixée latéralement au bâti aspire l'huile dans l'auge et la refoule dans un système de conduites qui la distribuent aux différents points à *lubréfier*, de manière à établir une circulation d'huile continue. D'autre part. une presse Mollerup envoie de la graisse dans les rainures spéciales ménagées en arrière des boites à étoupes et entretient ces dernières dans un état parfait de lubréfaction.

La pompe est étudiée de façon qu'elle puisse fonctionner sans surveillance, pendant 6 heures au moins.

---

(1) Exposée par la maison Ehrhardt et Schmer de Schleifmuehle-Saarbrücken, dans la classe 63. (Rez-de-chaussée du Palais des Mines.)



Dans la construction des réservoirs à air d'aspiration et de refoulement des soupapes, ainsi que dans la disposition de tout l'ensemble, il n'y a pas de procédés nouveaux.

La pompe débite 1 000 à 1 200 litres par minute à 250 à 300 m de hauteur, en tournant à une vitesse de 200 à 250 tours.

Les essais ont montré que sa marche était irréprochable jusqu'à une vitesse de 300 tours par minute. Le moteur électrique qui l'actionne à l'Exposition fait 214 tours par minute.

Le débit théorique correspondant est de 1 090 litres et, en admettant un rendement volumétrique de 0,92, le débit réel est de 1 000 litres par minute. En réalité, le rendement a été trouvé avoir une valeur moyenne de 94 p. 100.

L'électromoteur triphasé qui conduit cette pompe a été livré par la Société Anonyme d'Électricité, ci-devant W. Lahmeyer et C°. Il est à bagues et donne 75 chevaux sous une tension de 500 volts.

Son inducteur fixe, comprend un bâti rond, en fonte, auquel est fixée l'armature du stator en tôles de fer doux isolées. L'enroulement est logé dans des encoches également espacées, pratiquées à l'intérieur de la couronne. L'enroulement est constitué par des tiges de cuivre plat, raccordées aux extrémités par des étriers en cuivre. Deux couvercles en fonte, pourvus d'ouvertures pour la ventilation, protègent l'enroulement.

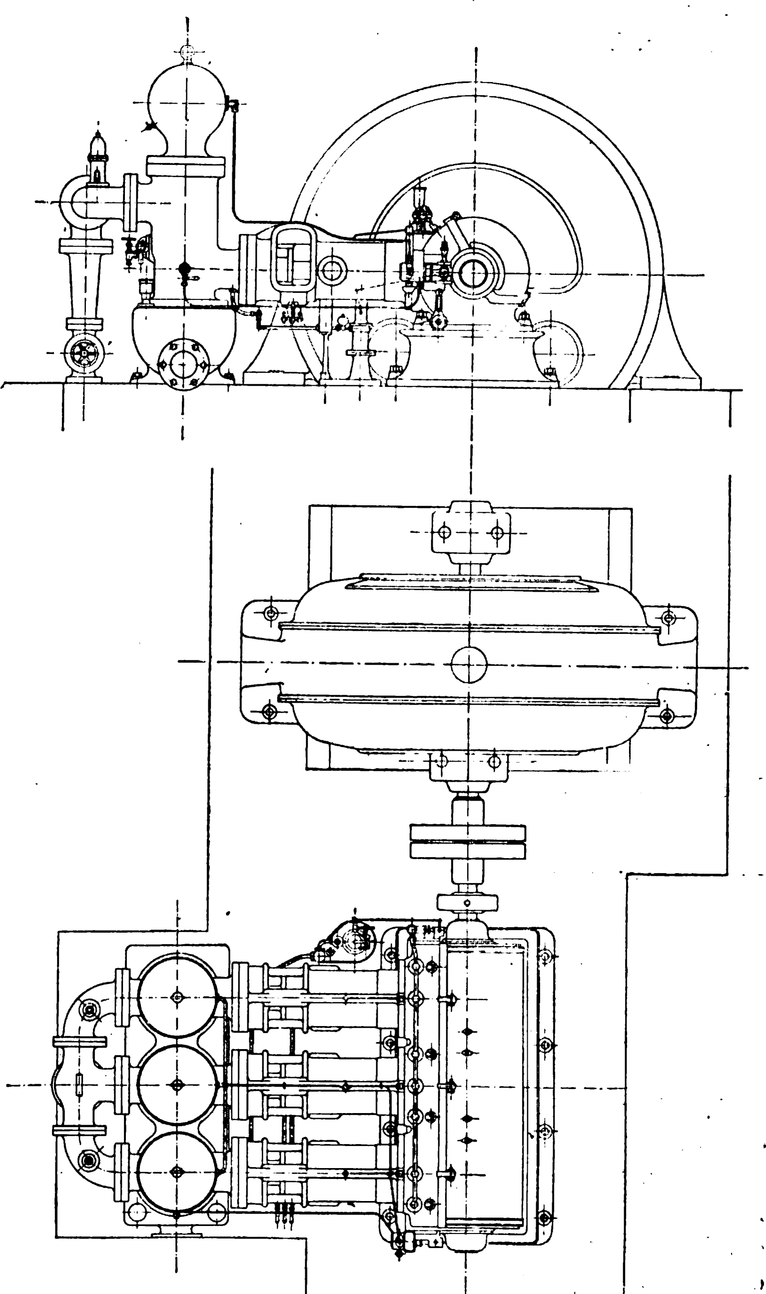


Fig. 1 et 2. — Pompe Ehrhardt et Schmer. Vue en plan et élévation.

Le rotor est formé lui aussi par la superposition de tôles de fer doux. Son enroulement est formé par des tiges plongées dans des rainures. Le montage est en étoile.

Les bagues de contact sont munies d'un appareil de mise en court-circuit particulier à la maison Lahmeyer : les trois balais formant la connexion entre le rotor et les résistances de démarrage peuvent être éloignés d'un seul coup au moyen d'un levier. A l'intérieur des

bagues vient en même temps glisser un noyau conique qui les met en court-circuit. Pendant la marche normale l'usure des balais ne se produit donc pas et on supprime tout danger d'étincelles.

Les paliers tiennent fort peu de place, ce qui est très important pour les installations des mines. Les coussinets sont en fonte revêtue de métal blanc.

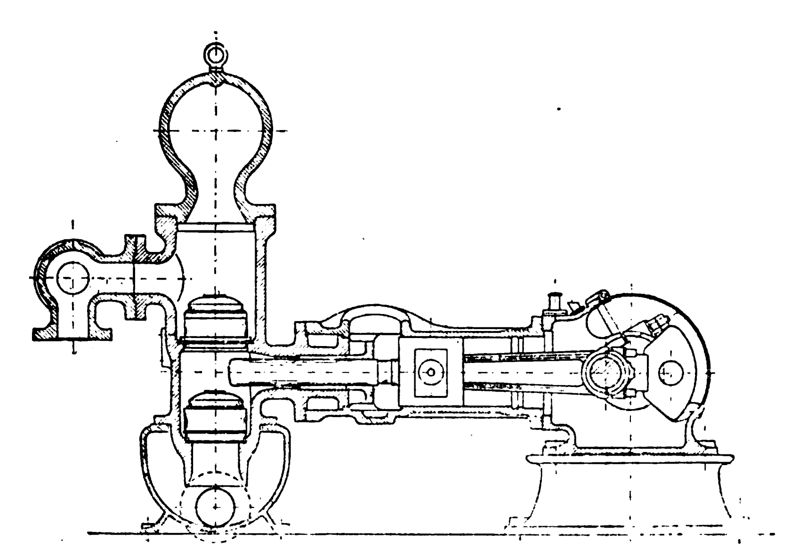


Fig. 3. — Coupe verticale d'un corps de pompe.

Les portées des paliers sont très largement dimensionnées dans le but d'obtenir une marche régulière et silencieuse de l'arbre et une diminution de l'usure des coussinets.

L'enroulement de ce moteur a été exécuté pour être alimenté à une tension normale de 1 000 volts, mais la tension de 500 volts a été imposée par l'Exploitation de l'Exposition.

J. Reyval.

METHODES APPROCHÉES POUR LA SOLUTION
DE QUELQUES PROBLÈMES SUR LES COURANTS ALTERNATIFS

I. Répartition inégale des courants dans les conducteurs. — C'est un fait bien connu, qu'un courant alternatif n'est pas distribué également dans toute la section des conducteurs qu'il traverse. Le courant se porte particulièrement sous la surface, car c'est là que la résistance inductive est la moins grande ; autrement dit, le champ qui est produit dans le conducteur repousse le courant vers l'extérieur. Par suite de cette inégale répartition du courant, la dépense d'énergie par effet Joule est plus grande que si la densité de courant était constante dans toute la section, car, dans chaque portion de conducteur, la dépense d'énergie est proportionnelle au carré de la densité de courant.

Soit p' l'énergie dépensée lorsque la répartition du courant est uniforme, l'énergie réelle est, en appelant γ un facteur plus grand que l'unité, $p = \gamma p'$.

Le facteur γ se calcule d'habitude d'après une formule donnée par Rayleigh, ou bien se déduit d'un tableau calculé d'après cette formule.

Nous allons montrer que l'on peut déterminer la répartition du courant dans la section par une méthode élémentaire, si l'on se contente d'une certaine approximation.

Nous supposerons que seules les lignes de force produites à l'intérieur du conducteur rendent la répartition du courant inégale. Le champ qui entoure le conducteur extérieurement influence toutes les sections également, et la force électromotrice induite peut être réunie à la tension e aux extrémités du conducteur.

Divisons le conducteur en un certain nombre z

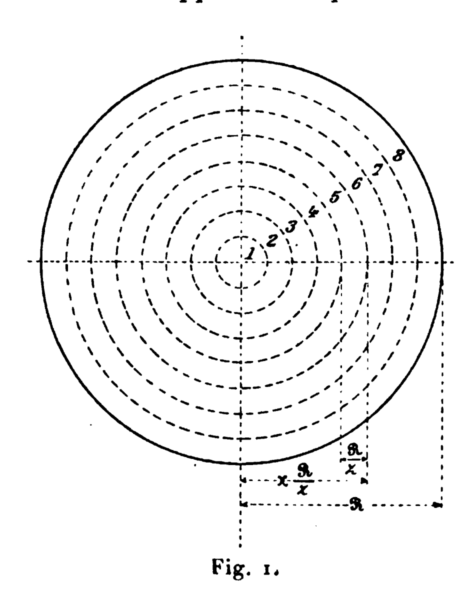


Fig. 1.

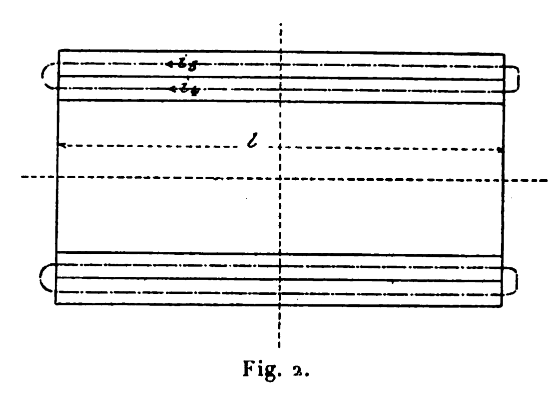


Fig. 2.

de cylindres creux concentriques d'égale épaisseur (fig. 1) et appliquons à deux cylindres voisins, les cylindres de rangs 4 et 5 par exemple (fig. 2), la seconde loi de Kirchhoff, loi de l'induction et celle de l'électro-magnétisme, nous arrivons par un calcul simple [1] à la relation

$$i_5 = c_1 i_4 + c_2 \frac{dI_5}{dt} + \frac{c_2}{4} \frac{di_5}{dt}$$

[1] Appliquant la seconde loi de Kirchhoff à ces deux circuits en parallèle, nous avons pour la valeur instantanée du courant

$$i_5 r_5 - i_4 r_4 = \text{somme de toutes les forces électromotrices en circuit 4-5.}$$

Les lignes de force intérieures forment des cercles concentriques à l'axe, et la force électromotrice que ces lignes induisent dans un cylindre est proportionnelle à la variation des nombres des lignes qui entourent ce cylindre. Si à l'instant considéré, nous désignons par N_4 et N_5 le nombre de lignes de force qui entourent le cylindre 4 et 5, les forces électromotrices sont respectivement pour les conducteurs 4 et 5.

$$e - \frac{dN_4}{dt} 10^{-8} \quad \text{et} \quad e - \frac{dN_5}{dt} 10^{-8}.$$

Donc la somme des forces électromotrices du circuit 4-5 est

$$\left(e - \frac{dN_5}{dt} 10^{-8}\right) - \left(e - \frac{dN_4}{dt} 10^{-8}\right) = \frac{d(N_4 - N_5)}{dt} 10^{-8}.$$

Par suite

$$i_5 r_5 - i_4 r_4 = \frac{d(N_4 - N_5)}{dt} 10^{-8} = \frac{dn_5}{dt} \times 10^{-8}.$$

en désignant par n_5, le nombre des lignes de force qui se trouvent dans la paroi du cylindre 5.

Si l'on désigne par R_5 la réluctance du circuit de lignes de force n_5 on a

$$n_5 = \frac{4\pi}{10} \frac{I_5 + 0{,}25\, i_5}{R_5},$$

I_5 étant la somme de tous les courants intérieurs au 5e cylindre, c'est-à-dire $i_1 + i_2 + i_3 + i_4$.

entre les intensités i_4 et i_5 des courants dans ces cylindres, et l'intensité totale I_5 dans les cylindres intérieurs au cylindre de rang 5, c_1 étant le rapport des résistances ohmiques r_4 et r_5 des deux cylindres considérés et c_2 un coefficient dépendant de r_5 et de la réluctance R_5 du cylindre 5.

Cette relation est traduite, dans l'hypothèse de courants sinusoïdaux de fréquence $\frac{\omega}{2\pi}$, par le diagramme de la figure 3, qui permet de trouver i_5 quand i_4 et I_5 sont connus.

Soient, en effet, $OA = i_4$ $OB = I_5$. Nous tracerons $OC = c_1 i_4$, $CD = c_2 \omega I_5$ perpendiculairement à I_5. Puis nous trouvons OF de telle sorte que

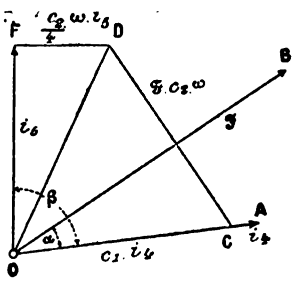


Fig. 3.

$$\widehat{DOF} = \operatorname{arc\,tg} \frac{c_2 \omega}{4}$$

et nous projetons OD sur OF. On a $i_5 = OF$.

Or l'angle DOF est en général très petit et nous pouvons remplacer DF par un arc de cercle dont la corde a pour longueur $\frac{c_2}{4} \omega\, i_5$.

Dans la construction du diagramme d'ensemble nous partirons d'un courant central i_1 choisi arbitrairement, lequel est d'ailleurs égal à I_2 ; nous trouverons ainsi i_2 ; nous formerons $I_3 = i_2 + i_1$, ce qui nous conduit à i_3 et ainsi de suite, jusqu'à ce que nous ayons trouvé toutes les intensités en grandeur et en phase. Connaissant alors la distribution du courant, nous pouvons calculer alors le facteur $\gamma = \frac{p}{p'}$ et déterminer l'inductance intérieure du conducteur [1].

Si on porte la valeur n_5 dans l'équation précédente, on trouve

$$\left(\frac{dI_5}{dt} + \frac{1}{4}\frac{di_5}{dt}\right) \frac{4\pi}{10} \frac{10^{-8}}{R_5 r_5} = i_5 - i_4 \frac{r_4}{r_5}.$$

Posons

$$c_1 = \frac{r_4}{r_5} \qquad c_2 = \frac{4\pi}{10} \frac{10^{-8}}{R_5 r_5},$$

on a

$$i_5 = c_1 i_4 + c_2 \frac{dI_5}{dt} + \frac{c_2}{4} \frac{di_5}{dt}. \qquad (2)$$

Supposons que toutes les grandeurs variables avec le temps suivent la loi sinusoïdale et posons

$$i_4 = i_{4max} \sin \omega t, \qquad I_5 = I_{5\,max} \sin(\omega t + \alpha), \qquad i_5 = i_{5\,max} \sin(\omega t + \beta),$$

de telle sorte que

$$\frac{dI_5}{dt} = I_{5\,max}\, \omega \cos(\omega t + \alpha) \; \frac{di_5}{dt} = i_{5\,max}\, \omega \cos(\omega t + \beta).$$

Portant ces valeurs dans l'équation (2) on trouve

$$i_5 = c_1 i_4 + c_2 \omega I_5 + \frac{c_2}{4} \omega i_5 ;$$

$c_2 \omega I_5$ est en avance de $\frac{\pi}{2}$ sur I_5 ; de même $\frac{c_2}{4} \omega\, i_5$ est en avance de $\frac{\pi}{2}$ sur i_5.

(1) Nous éclairerons cette théorie par un exemple.

Les constantes c_1 et c_2 se déterminent de la façon suivante. La résistance du cylindre de rang x est

$$r_x = \frac{l}{K \frac{R}{z} 2\pi \frac{R}{z} (x - 0,5)} = \frac{l z^2}{K 2\pi R^2 (x - 0,5)},$$



Le diagramme de la figure 4 est tracé pour $R = 2$ cm, en supposant la fréquence égale à 80. Il a été obtenu en divisant le conducteur en 10 cylindres de 0,2 cm d'épaisseur; on peut en déduire la valeur de γ pour tous les rayons de 6, 8, 10, 20 mm. Ainsi pour $R = 1,4$ cm,

---

où K est la conductivité du cuivre, c'est-à-dire 58.10^4, R le rayon du conducteur et l sa longueur; donc

$$c_{1x} = \frac{r_{x-1}}{r_x} = \frac{x - 0,5}{x - 1,5}.$$

D'autre part $\omega = 2\pi\nu$, où ν est la fréquence; par suite

$$c_2\omega = \frac{4\pi}{10} \frac{10^{-8}}{R_x r_x} 2\pi\nu,$$

$$R_x = \frac{2\pi \frac{R}{z}(x - 0,5)}{\frac{R}{z} l} = \frac{2\pi(x - 0,5)}{l},$$

$$c_2\omega = 455\ 10^{-4}\nu\left(\frac{R}{z}\right)^2 = 0,0455\,\nu\delta^2,$$

quantité indépendante de x.

La constante c_2 est donc la même pour tous les cylindres et ne dépend que de l'épaisseur δ des anneaux.

Supposons que $\nu = 80$ périodes, $R = 2\,cm$, $z = 10$. Réunissons en un seul les cylindres 1, 2, 3, car l'irrégularité de distribution y est faible, et donnons lui l'indice 3.

Nous avons

$$c_2\omega = 0,0455\,\nu\left(\frac{R}{z}\right)^2 = 0,0365.$$

Dans la figure 4 nous avons porté à une échelle arbitraire $OD_3 = i_3$;

$$D_3B_3 = i_3 \frac{r'_3}{r_4} = OD_3\,0,78$$

$$B_3C_3 = c_2\,\omega i_3 = 0,146\,i_3 \text{ perpendiculaire à } OB_3.$$

De D_3 comme centre décrivons un arc C_3D_4;

$$C_3D_4 = \frac{c_2\omega}{4} D_3C_3; \quad D_3D_4 = i_4; \quad OD_4 = I_5.$$

On prolonge D_3D_4 d'une quantité $D_4B_4 = c_1 i_4 = i_4 \frac{4,5}{3,5}$, on porte $B_4C_4 = c_2\omega I_5$ perpendiculairement à I_5, on décrit l'arc C_4D_5, etc.

Si l'on continue ainsi on trouve $OD_{10} = I$ courant total, les vecteurs OD_3, D_3D_4... D_9D_{10} représentent les courants i des diverses sections. La tension e est en avance sur i_{10} d'un angle dont la valeur approchée est arc tg$\frac{c_2\omega}{4}$. Le courant i_3 est en retard sur e d'un angle voisin de 120°, et l'angle de e_1 et de I est d'environ 35°.

Le facteur γ a pour valeur

$$\gamma = \frac{p}{p'} = \frac{\Sigma\, i_x^2 r_x}{I^2 \frac{l}{KQ}}$$

Q étant la section du fil. Donc

$$\gamma = \frac{i_{10}^2 \frac{Q}{q_{10}} + i_9^2 \frac{Q}{q_9} + \ldots\ldots + i_3^2 \frac{Q}{q_3}}{I^2}$$

D'une façon générale $\frac{Q}{q_x} = \frac{100}{2x - 1}$.

On trouve comme augmentation apparente de la résistance ohmique pour un conducteur de 2 cm de rayon et une fréquence 80, $\gamma = 1,67$ valeur qui coïncide avec celle déduite de la formule de Rayleigh.



on se servirait du diagramme jusqu'à D_7 ($I = OD_7$), et on laisserait de côté les cylindres 10, 9, 8.

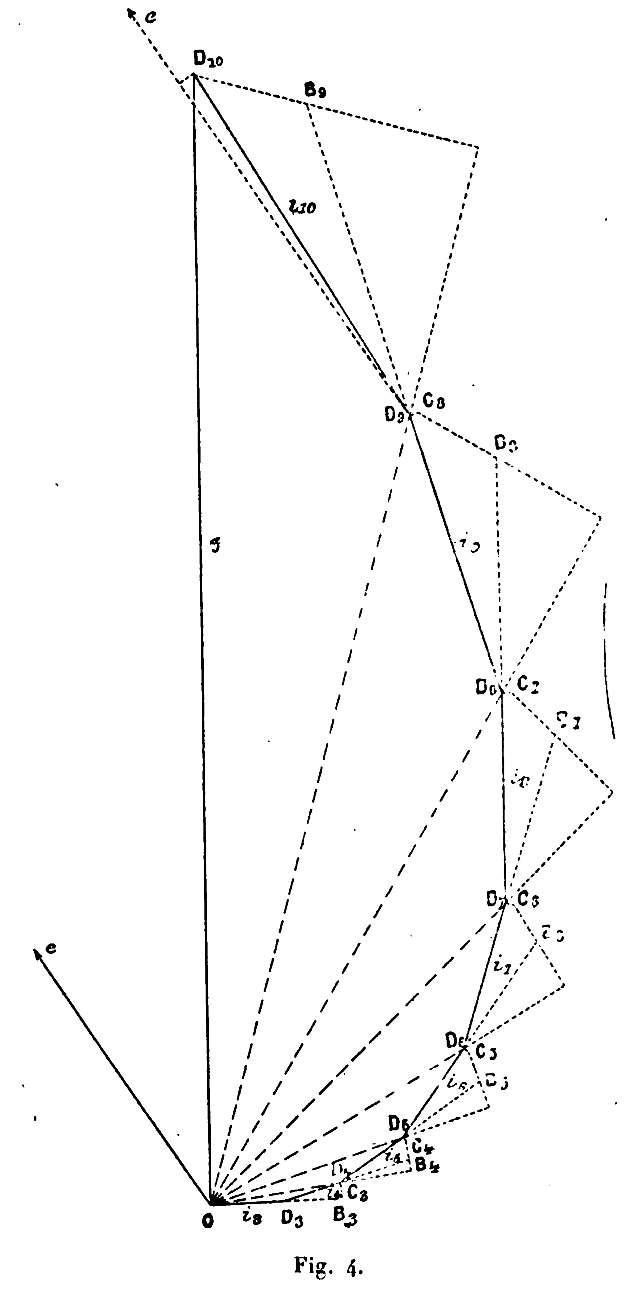


Fig. 4.

II. Courants de Foucault dans les tôles et les masses de fer. — Lorsqu'un champ alternatif traverse un conducteur il se produit dans celui-ci des courants induits qui réagissent sur le champ. Si la tension alternative qui produit le champ est fixe et si la résistance ohmique des spires inductrices est faible, les courants secondaires ne peuvent diminuer le champ. Ils repoussent le champ vers la périphérie du conducteur et en partie le forcent à en sortir. Ce phénomène est peu marqué dans les tôles de nos instruments à courants alternatifs, mais il est très intense lorsqu'un conducteur massif, par exemple un noyau de fer est soumis à une force magnétisante alternative. Cet effet de surface peut se calculer approximativement aussi facilement que l'effet précédent : il suffit de remarquer que le champ et le courant échangent ici leurs rôles.

La figure 5 représente la section rectangulaire d'une masse de fer, traversée par des lignes de force perpendiculaires à la surface du papier. Les trajets des courants induits se modèleront sur la forme de la section, et formeront des rectangles semblables, du moins approximativement.

Soient a et b les côtés du rectangle ; nous partagerons a et b en $2z$ parties égales et nous construirons z prismes creux rectangulaires qui représenteront les chemins des courants.

En faisant un raisonnement [1] analogue au précédent, on arrive à la relation

$$n_5 = c_1 n_4 + c_2 \frac{dN_5}{dt} + \frac{c_2}{4}\frac{dn_5}{dt},$$

n_4 et n_5 désignant respectivement les nombres des lignes de force magnétiques dans les

[1] Soit l la longueur de chaque prisme : la résistance électrique du trajet du courant de rang x est

$$r_x = 2\left[\frac{(x-0,5)\,\frac{a}{z}}{l\,\frac{b}{2z}\,k} + \frac{(x-0,5)\,\frac{b}{z}}{l\,\frac{a}{2z}\,k}\right] = \frac{2(2x-1)}{lk}\left(\frac{a}{b}+\frac{b}{a}\right).$$

sections 4 et 5, N_5 les nombres de ces lignes à l'intérieur de la section 5, c_1 le rapport des résistances magnétiques R_4 et R_4 et enfin c_2 un coefficient dépendant de R_5 et de la résistance ohmique r_5.

On reconnaît exactement la même équation que précédemment.

Nous pouvons effectuer la construction du diagramme des lignes de force en partant des flux n_4, exactement comme nous avons construit le diagramme des intensités [1].

Pour les tôles on a approximativement

$$r_n = \frac{2(2x-1)}{lk} \cdot \frac{a}{b}.$$

Soit l_1 la longueur des lignes de force ; s'il n'y a pas d'entrefer $l_1 = l$. d'une façon générale l_1 comporte un entrefer λ. Si p est la perméabilité du fer

$$l_1 = l + \lambda p.$$

Pour les lignes de force qui parcourent le prisme de rang x la résistance magnétique est

$$R_x = \frac{l_1 z_2}{pab(2x-1)}$$

Le prisme de rang x contient dans son intérieur N_x lignes de force et dans sa masse n_x lignes de force. Soit i_x le courant qui traverse le prisme.

$$i_x r_x = \frac{d\left(N_x + \frac{n_x}{4}\right)}{dt} 10^{-8}.$$

Le flux de force n_x dépend des ampères-tours primaires At et des courants de Foucault I_x qui produisent n_x.

$$R_x n_x = \frac{4\pi}{10}(At - I_n)$$

$$R_4 n_4 = \frac{4\pi}{10}(At - I_4)$$

$$R_5 n_5 = \frac{4\pi}{10}(At - I_5)$$

$$R_4 n_4 - R_5 n_5 = \frac{4\pi}{10}(I_5 - I_4)$$

$$R_5 n_5 - R_4 n_4 = \frac{4\pi}{10} i_5.$$

Si nous posons

$$i_5 = \frac{10^{\,8}}{r_5}\left(\frac{dN_5}{dt} + \frac{1}{4}\frac{dn_5}{dt}\right)$$

on trouve

$$n_5 = n_4 \frac{R_4}{R_5} + \frac{4\pi}{10}\frac{10^{-8}}{R_5 r_5}\left(\frac{dN_5}{dt} + \frac{1}{4}\frac{dn_5}{dt}\right)$$

Posons

$$c_1 = \frac{R_4}{R_5} \qquad c_2 = \frac{4\pi}{10}\frac{10^{-8}}{R_5 r_5}$$

on a

$$n_5 = c_1 n_4 + c_2 \frac{dN_5}{dt} + \frac{c_2}{4}\frac{dn_5}{dt}$$

[1] Donnons seulement la valeur des constantes c_1 et c_2. On trouve

$$c_{x1} = \frac{R_{x-1}}{R_x} = \frac{2x-1}{2x-3}$$

$$c_2\omega = \frac{4\pi}{10}\frac{10^{-8}\,2\pi\nu}{R_x r_x} = 7{,}9\,10^{-8}\,K\left(\frac{lp}{l_1}\right)\left(\frac{ab}{z}\right)^2 \frac{\nu}{a^2+b^2}$$

quantité indépendante de x. Pour le fer la valeur de K est d'environ 10^5.

L'influence de l'hystérésis vient apporter une correction de second ordre, et peut se calculer si on a commencé par déterminer la répartition du champ obtenue en la négligeant.

III. **Répartition du courant dans les induits a cage d'écureuil.** — Dans le cas des induits à cage d'écureuil, le parcours du courant est bien déterminé et les méthodes pré-

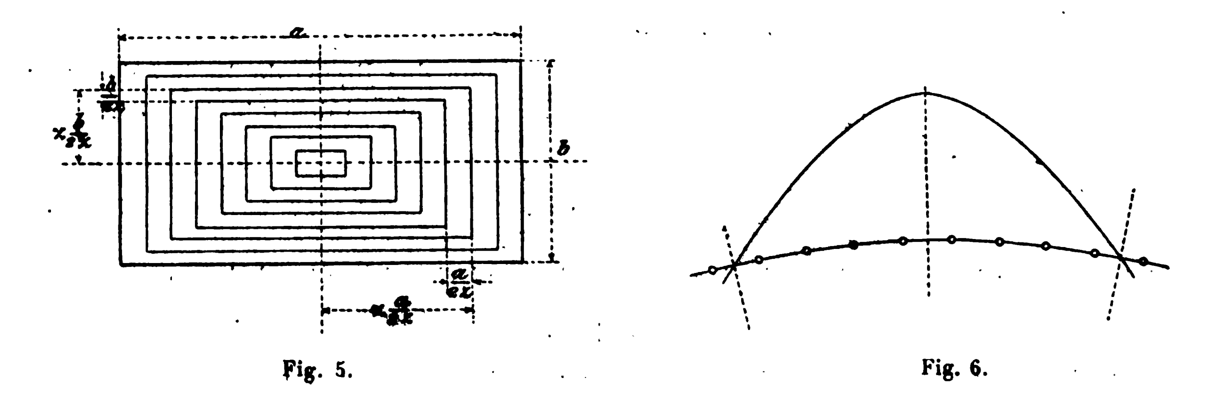


Fig. 5. Fig. 6.

cédentes s'appliquent avec facilité. Nous établirons entre deux courants indivis certaines relations déduites des lois de Kirchhoff.

Soient E_1, E_2, ... E_x les forces électromotrices induites à un instant donné dans les barres. Soient s les résistances des barres, r la résistance de la portion de bague de court-circuit comprise entre deux barres, i_1, i_2, ... i_x les intensités des barres I_1, I_2, ... I_x les intensités dans la bague (fig. 6 et 7).

Les lois de Kirchhoff nous donnent la relation :

$$i_3 s + I_3 r - i_4 s + I_3 r = E_3 - E_4$$

$$i_4 = i_3 + 2 I_3 \frac{r}{s} - \frac{E_3 - E_4}{s}$$

$$I_4 = I_3 + i_4.$$

Ces égalités suffisent pour calculer la répartition des courants.

Nous prenons un exemple, et pour plus de simplicité nous supposerons que la force

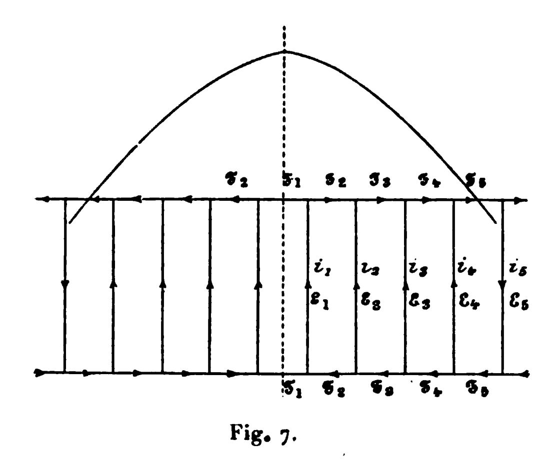


Fig. 7.

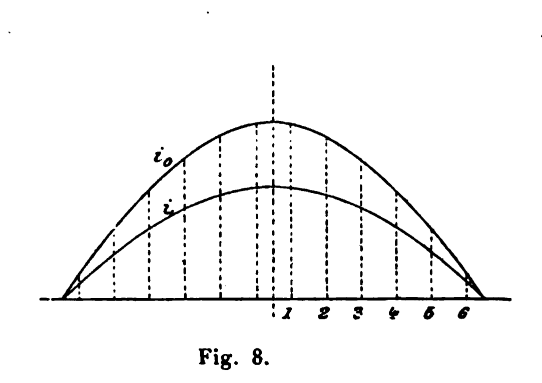


Fig. 8.

électromotrice E est induite par un champ à répartition sinusoïdale et tournant avec une vitesse uniforme. Alors la répartition de la force électromotrice dans les barres est

également sinusoïdale, et, d'après Rössler [1], il en est de même de la répartition des courants.

Nous donnerons au champ une position telle que le maximum du champ se trouve au milieu de deux barres voisines. D'après la figure 7 on peut en conclure que $I_1 = 0$, par suite

$$I_2 = i_1, \qquad i_2 = i_1 + 2i_1 \frac{r}{s} - \frac{E_1 - E_2}{s}, \qquad I_3 = i_2 + I_2 = i_2 + i_1,$$

$$I_3 = i_1\left(2 + 2\frac{r}{s}\right) - \frac{E_1 - E_2}{s}, \qquad i_3 = i_2 + 2 I_2 \frac{r}{s} - \frac{E_2 - E_3}{s} \text{ etc.}$$

Nous obtenons ainsi toutes les intensités en fonction linéaire de i_1, et nous arrivons à la fin du courant de la barre qui, si le nombre de barres par pôle est impair, se trouve à l'induit en $E = 0$. Mais ce courant est nul et nous avons

$$\frac{i_{z+1}}{2} = f(i_1) = 0.$$

Si le nombre de barres par pôle est pair, nous trouvons

$$i_4 = f'(i_1) = -i_5 = f''(i_1)$$

On peut ainsi calculer i_1, d'où l'on déduit toutes les autres intensités [2].

RUDOLF GOLDSCHMIDT
Ingénieur de l'A.-E.-G., Berlin.

---

(1) G. RÖSSLER. *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1898, p. 766.

(2) EXEMPLE : Soit un moteur à 4 pôles, dont les barres aient 30 cm de longueur, l'induit 30 cm de diamètre, la section des barres $q_1 = 60$ mm², la section de la bague $q_2 = 200$ mm², le nombre de barres par pôle $= 12$, nombre de tours à vide 1500.

Nous supposerons le glissement σ assez faible pour que l'influence de la dispersion sur le courant secondaire soit petite.

$$\text{Soit } B_{max} = 5\,000; \quad \text{on a} \quad s = 10^{-4} \text{ ohm}, \; r = 2.10^{-6} \text{ ohm}, \; \frac{r}{s} \; \frac{1}{50}$$

$$E_{max} = B_{max} D \pi \frac{n}{60} \sigma l \, 10^{-8} = 3{,}52\,\sigma \text{ volts}.$$

Si z est le nombre de barres par pôle, les forces électromotrices des bornes x et $x + 1$ seront (fig. 8).

$$E_x = E_{max} \cos\left(\frac{(x - 0{,}5)\pi}{z}\right) \quad \text{et} \quad E_{x+1} = E_{max} \cos\left(\frac{(x + 0{,}5)\pi}{z}\right)$$

d'où

$$\frac{E_x - E_{x+1}}{s} = \frac{2 E_{max}}{s} \sin\frac{\pi}{2z} \sin x \frac{\pi}{z}.$$

Dans le cas présent

$$\frac{E_x - E_{x\times1}}{s} = 9150\,\sigma \sin x \frac{\pi}{12};$$

d'où l'on tire pour chacune des barres les valeurs suivantes du coefficient de σ.

1	2	3	4	5	6
2360	4575	6470	7925	8840	9150, etc.

On aura donc

$$i_2 = 1{,}04\, i_1 - 2360\,\sigma \qquad I_3 = 2{,}04\, i_1 - 2360\,\sigma$$

$$2\frac{r}{s} I_3 = 0{,}082\, i_1 - 95\sigma$$



REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

TRACTION

Méthode pour diminuer les courants vagabonds des tramways électriques, par **J. Teichmüller.** *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXI, p. 436, 31 mai 1900.

Les courants vagabonds ne peuvent jamais être complètement évités lorsque le retour se fait par les rails. Les moyens proposés pour la protection des conduites d'eau et de gaz peuvent se classer de la façon suivante :

1° On laisse les courants vagabonds se produire, mais on cherche à les empêcher de pénétrer dans les conduites. Par exemple, on entoure les tuyaux avec d'anciens tuyaux hors d'usage; on les recouvre d'un bon isolant ou d'un enduit isolant; on diminue leur conductibilité en adoptant des joints isolants. Aucune de ces très nombreuses méthodes n'a donné de résultat satisfaisant ;

2° On laisse les courants vagabonds se produire et pénétrer dans les conduites, mais on cherche à éviter les effets d'électrolyse à la sortie. Les figures 1 et 2 donnent des schémas de montage adoptés. Une force électromotrice auxiliaire sert à maintenir le rail positif par rap-

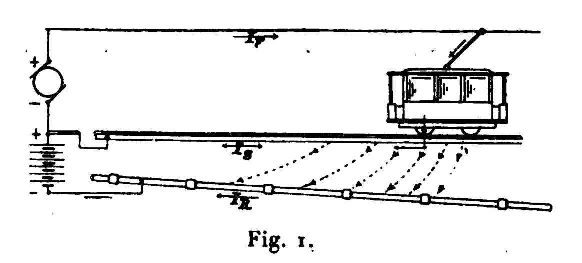


Fig. 1.

port à la conduite : les courants peuvent donc entrer dans la conduite mais ne peuvent en sortir. A proximité de la station centrale, le courant est recueilli par des conducteurs métalliques. Ces méthodes sont d'ailleurs également peu sûres, car il est bien difficile de forcer le courant à suivre constamment la conduite d'eau ;

3° On cherche à éviter les courants vagabonds.

$$-\frac{E_2 - E_3}{s} = -4575\sigma$$

$$i_3 = 1{,}122\, i_1 - 6930\sigma \qquad I_4 = I_3 + i_3 = 3{,}162\, i_1 - 9290\,\sigma$$

$$2\ \frac{r}{s}\ \frac{I}{4} = 0{,}127\, i_1 - 372\,\sigma$$

$$-\frac{E_3 - E_4}{s} = -6\,470\,\sigma$$

$$i_4 = 1{,}249\, i_1 - 13\,772\,\sigma \qquad I_5 = I_4 + i_4 = 4{,}410\, i_1 - 23.062\,\sigma.$$

On trouve de même

$$i_5 = 1{,}425\, i_1 - 22.620\,\sigma$$
$$i_6 = 1{,}658\, i_1 - 34.130\,\sigma$$
$$i_7 = 1{,}958\, i_1 - 46.471\,\sigma$$
$$i_7 = -\, i_6$$

d'où

$$3{,}616\, i_1 - 80\,600\,\sigma = 0$$
$$i_1 = 22300\sigma.$$

Remployant dans les égalités précédentes on trouve

$$i_2 = 20840\,\sigma \quad i_3 = 18070\,\sigma \quad i_4 = 14088\,\sigma \quad i_5 = 9180\,\sigma \quad i_6 = 2870\,\sigma, \text{ etc.}$$

Ces valeurs ont été portées (fig. 8) sur la courbe inférieure.

Si l'on avait $r = 0$ on aurait

$$i_1 = \frac{E_1}{s} \quad i_2 = \frac{E_2}{s} \ \ldots\ldots \text{(courbe supérieure)}$$

Par suite de la résistance de l'anneau de court-circuit, la résistance totale du rotor est égale a 1,55 fois la résistance des barres.

A cet effet, on peut soit isoler les rails, soit diminuer les différences de potentiel entre le rail et le sol. Actuellement, il ne faut pas songer à isoler les rails d'une façon pratique, durable et peu onéreuse.

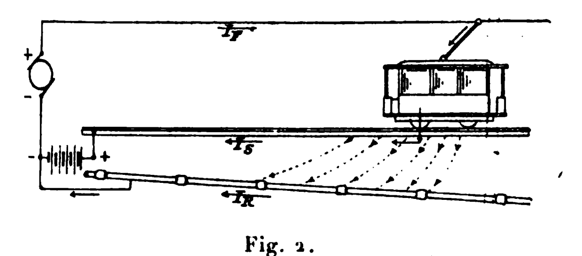


Fig. 2.

Pour diminuer la perte en volts dans les rails, on peut tout simplement relier les rails à d'autres conducteurs posés simplement en terre. Mais les résultats sont médiocres et les frais assez élevés. On peut aussi alimenter les rails en certains points au moyen de câbles isolés : dans ce cas, il ne faut réunir l'un des pôles de la dynamo au rail le plus voisin que par l'intermédiaire d'une résistance. Dans le feeder, on peut alors admettre une plus grande perte de tension. Cette méthode tombe actuellement en défaveur : la perte d'énergie dans le feeder, si celui-ci n'est pas très gros, est considérable. Une troisième méthode consiste à employer les rails comme conducteur central d'une canalisation à trois fils. Mais cette méthode n'est applicable, à moins de très grandes difficultés, que lorsque la ligne est à deux voies.

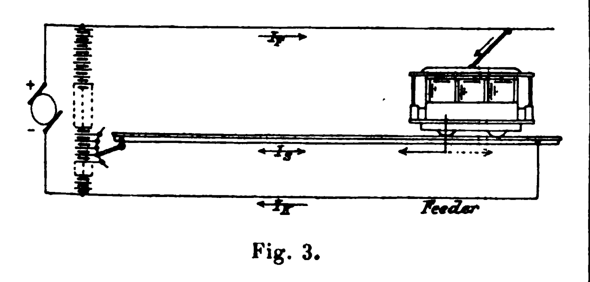


Fig. 3.

Dans le système à trois fils proprement dit, il faut, pour que le conducteur central soit absolument neutre, que les deux ponts soient également chargés. Mais on peut réaliser l'équilibre autrement ; par exemple, sur l'un des ponts, on mettra l'installation du tramway et sur l'autre une force électromotrice avec un conducteur, sans appareil d'utilisation. Au lieu de deux forces électromotrices, on peut n'en adopter qu'une seule et la partager au moyen d'accumulateurs. On obtient ainsi le schéma de la figure 3. Un commutateur permet d'intercaler le nombre d'éléments nécessaires pour l'équilibrage. Cette méthode est très facilement applicable lorsqu'il y a une batterie-tampon.

Si on prend deux forces électromotrices, la génératrice et une dynamo auxiliaire, on peut appliquer le même procédé, même s'il n'y a pas de batterie-tampon. Le prix de revient est un peu plus élevé, mais on peut avoir un réglage automatique. Il suffit, pour cela, de faire passer le courant débité par la génératrice dans les inducteurs de la dynamo auxiliaire : on peut, dans ce cas, si celle-ci est convenablement calculée, avoir des rails sans courant à toutes les charges possibles. La figure 4 donne le schéma

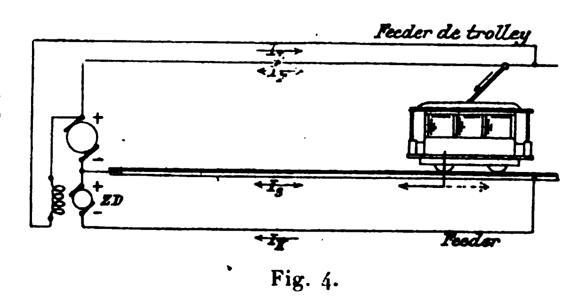


Fig. 4.

de cette méthode, qui a été proposée par Kapp. C'est la meilleure de toutes celles qui ont été proposées pour combattre les courants vagabonds. On suppose, bien entendu, que les rails ont été réunis de façon à former un bon conducteur.

La valeur de cette méthode consiste dans ce fait qu'elle diminue en chaque point la différence de potentiel entre le rail supposé isolé et le sol. C'est cette différence de potentiel qui caractérise le danger de la production des courants vagabonds.

Cette méthode a été appliquée dans deux cas, et il est intéressant de connaître les résultats obtenus. Ces deux installations sont les tramways de Bristol et le tramway de Schrœneberg, près de Berlin.

Tramways de Bristol. — La figure 5 donne le plan des tramways de Bristol.

La ligne commence au centre de la ville et va à l'est jusqu'à Kingswood. A 550 m du point de départ, s'embranche une ligne qui va à Staple-Hill. La station centrale est au milieu de la première ligne. La distance entre cette station

et le point extrême à Staple-Hill, comptée sur les rails est de 9 km, et jusqu'à Kingswood de 3 km. Il y a deux voies sur presque tout le par-

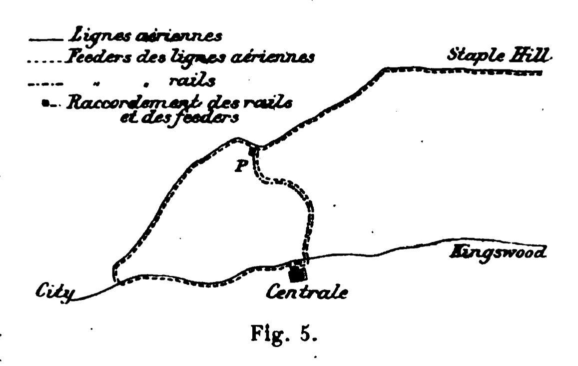


Fig. 5.

cours et assez de rampes d'une inclinaison maxima 1 : 15. Sur la partie la plus ancienne, les rails pèsent 38 kg par m, sur la partie récente 45 kg. Les rails sont reliés entre eux au moyen de deux fils de cuivre de 10 mm. Le fil de ligne a une section constante de 50 mm². Il est divisé en sections de 800 m de longueur, alimentées par un câble souterrain armé de 97 mm². Un fil pilote sert à mesurer la chute de tension dans le rail depuis le point le plus éloigné jusqu'à l'usine.

La méthode de Kapp a été appliquée sur la ligne de Staple-Hill. La longueur de la voie est si grande (9 km) et le trafic si intense (24 voitures ayant chacune deux moteurs de 28 chevaux) que la chute de tension dépasse la valeur de 7 volts fixée par le ministre du commerce et atteint 10 volts. Pour parer à cet inconvénient, deux câbles de 194 mm² vont de la station au point P de la ligne le plus voisin : l'un est relié au fil aérien, l'autre, aux rails : dans la station, le premier est en série avec l'induit, le second avec l'inducteur de la dynamo auxiliaire. Cette dernière comprend une dynamo de 50 volts et 300 ampères et un moteur dérivation de 500 volts accouplé directement avec la dynamo. Si nous désignons par zéro le potentiel du point P, celui du point le plus éloigné n'est que de 2,5 volts. La figure 6 donne le schéma de montage de la dynamo auxiliaire : l'excitation de cette dernière peut être réglée au moyen d'un rhéostat NR en dérivation sur l'inducteur. Un volmètre enregistreur RV inscrit la différence de potentiel entre l'extrémité de la voie et la station Sur la ligne de Kingswood on s'est contenté de mettre en circuit une batterie de six éléments Leclanché et deux indicateurs de pôle, l'un enregistreur *r*P, l'autre ordinaire *g*P.

L'installation a été faite par la Compagnie Thomson-Houston anglaise. Elle est en service depuis deux ans et demi environ et s'est très bien comportée : il n'y a eu aucun dégât commis par électrolyse. D'après M. Parshall, cette

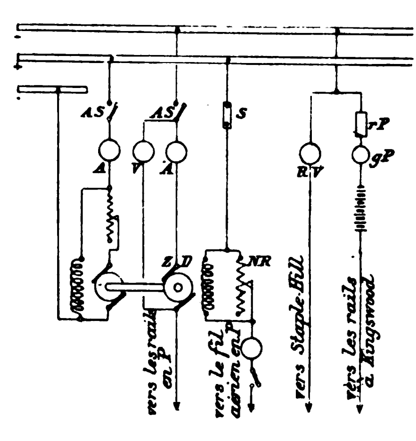


Fig. 6.

ZD, Dynamo auxiliaire; NR, Rhéostat en dérivation; AS, Interrupteur; A, Ampèremètre; V, Voltmètre; RV, Voltmètre enregistreur; *g*P, Indicateur de pôles; *r*P, Indicateur de pôles enregistreurs.

méthode doit être adoptée pour toute ligne de plus de 5 km sur laquelle circulent 2,5 voitures par kilomètre.

Tramway de Schrœneberg, près de Berlin. — La plus grande longueur de ce réseau se trouve entre Grünewald et Treptow, soit 15 km à vol d'oiseau.

La station centrale se trouve à peu près au milieu. La circulation est très restreinte en semaine, mais extrêment active le dimanche, particulièrement dans la région ouest. Il ne fallait pas songer à mettre des feeders pour les rails, car les frais auraient été extraordinairement élevés, et les pertes d'énergie très importantes. Mais comme le dimanche les pertes de tension dans les rails auraient été très supérieures aux 7 volts tolérés, on se décida à employer la méthode de Kapp.

La figure 7 donne le plan de la région ouest. Le réseau aérien est alimenté en cinq points. Dans le réseau des rails, il y a deux points de même potentiel : celui qui est voisin de la station et le point P. Ce dernier est réuni à la station par un câble de 1 100 mm² relié à la dynamo auxiliaire. L'excitation de celle-ci est parcourue

par les courants des lignes I, II, III, qui reviennent à la station par le câble de retour, tandis que le courant qui va aux points IV et V revient directement par les rails. Mais, même pour ces courants, la perte de tension serait trop forte : aussi la station est reliée au point A par deux câbles d'une section totale de 2 000 mm².

La dynamo auxiliaire peut donner 1 100 am-

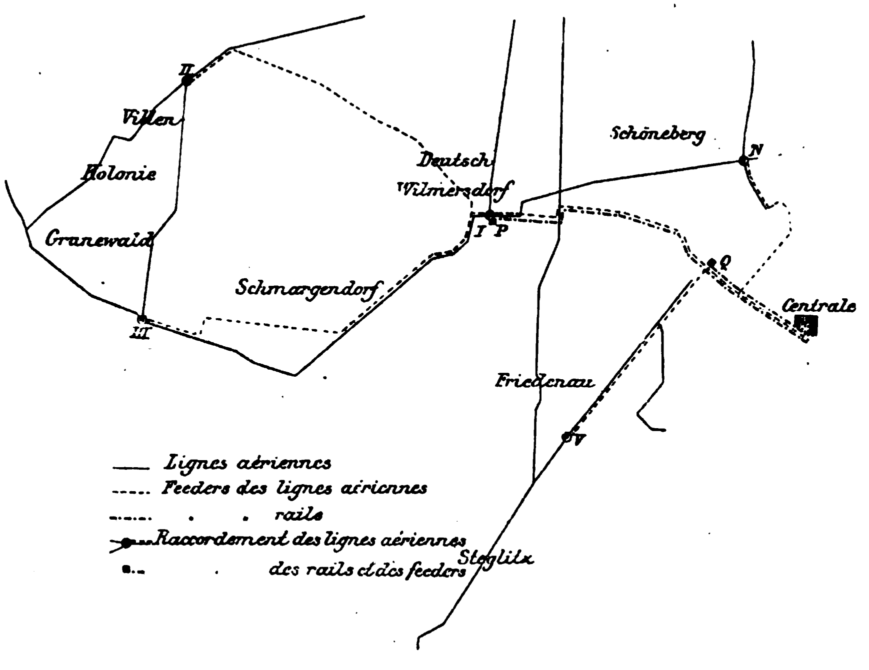


Fig. 7.

pères sous 50 volts ; elle travaille à basse saturation. Le schéma de montage est analogue à celui de la station de Bristol, mais il n'y a pas de fil pilote.

Au lieu de mesurer la perte de tension des rails, on mesure l'intensité du courant qui parcourt l'induit de la machine auxiliaire ; en la comparant avec les intensités des lignes I, II, III, on voit si la dynamo auxiliaire remplit son rôle. Cette dynamo ne marche d'ailleurs qu'au moment des fortes charges, c'est-à-dire le dimanche.

E. B.

INTERRUPTEURS

Nouvel interrupteur à liquide, par **E. Grimsehl**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXI, p. 491, 14 juin 1900.

Cet interrupteur comprend un tube de verre en forme de croix (fig. 1), dont la branche verticale supérieure O est fermée par un robinet A. La branche inférieure plus courte porte un ajutage B fermé par le robinet C. Un fil métallique pénètre dans cette branche inférieure par D. La branche horizontale E se termine par un tuyau ; l'autre branche horizontale F se termine par un bouchon dans lequel est fixé un tuyau en forme de sifflet, se terminant par une languette H à l'extrémité de laquelle est fixée une pointe de platine J.

Au moyen du tuyau K, on fait arriver du mercure à la branche inférieure jusqu'à ce que la pointe J vienne toucher ce mercure. En E est fixé un tuyau en relation avec une conduite d'eau. Si le débit est faible, l'eau s'écoule par le sifflet G ; mais si le débit augmente, l'air qui se trouve en O se comprime, et à une certaine pression le sifflet commence à émettre un son. On règle l'arrivée d'eau de telle sorte que le niveau s'élève en O de 1 ou 2 cm ; alors le son a 100 périodes par seconde. L'air qui se trouve en O est assez élastique pour produire une vibration ininterrompue du sifflet et communique en quelque sorte à l'eau l'élasticité qui lui manque. Par suite, la pointe J touche périodiquement le mercure et on obtient ainsi une interruption périodique du courant qui circule entre G et D.

La figure 1 montre le montage de cet interrupteur combiné avec une bobine d'induction. Tout l'interrupteur est monté sur un solide bâti de fer, fixé sur un socle où se trouvent un interrupteur et les bornes nécessaires.

L'interruption entre la pointe de métal et le mercure est à peu près complète et instantanée, car la résistance de l'eau est si grande que le courant peut être considéré comme totalement interrompu. L'eau par sa circulation maintient

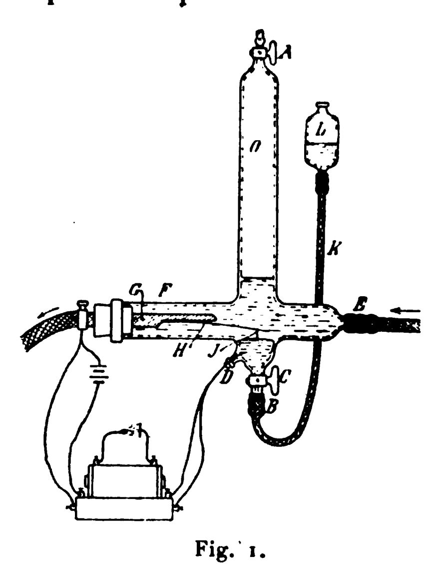


Fig. 1.

le contact froid, et après plusieurs heures de fonctionnement, on ne remarque aucune usure. En outre, les particules de mercure oxydées sont immédiatement entrainées et la surface du mercure est toujours propre. L'eau restant claire, on peut constamment surveiller le contact, tandis qu'avec d'autres interrupteurs il se forme une sorte d'écume à la surface du mercure, qui empêche le bon fonctionnement de l'appareil.

Pendant le fonctionnement, on règle le niveau du mercure de façon à compenser la petite portion entraînée sous forme d'oxyde. Mais cette portion est si faible que ce réglage n'est nécessaire qu'au bout de plusieurs heures.

E. B.

Irrégularités des interruptions dans les nouveaux interrupteurs à liquide, par **E. Ruhmer**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXI, p. 331, 26 avril 1900.

On a souvent signalé l'irrégularité des décharges des bobines actionnées par les interrupteurs de Wehnelt. Non seulement les décharges ne se suivent pas à intervalles réguliers, mais encore il se produit des arrêts pendant lesquels deux ou plusieurs décharges ratent. On a donné comme cause de ces irrégularités un fonctionnement défectueux de l'interrupteur. Mais l'inventeur de l'interrupteur a objecté qu'une irrégularité dans les étincelles n'était pas nécessairement due à une interruption irrégulière. Cette objection est parfaitement justifiée.

La résistance du trajet de l'étincelle subit des modifications par des particules de poussière, des tourbillons d'air, des échauffements, etc.

Il en résulte que, non seulement les étincelles se produisent irrégulièrement, mais encore que l'irrégularité du fonctionnement de la bobine agit sur l'interrupteur et rend son action irrégulière.

Pour déterminer nettement la cause de ces irrégularités, l'auteur s'est servi de la source intermittente de lumière produite par un interrupteur non relié à une bobine et en a tiré quelques épreuves mutoscopiques.

L'appareil photographique avait un dispositif permettant de déplacer les plaques à la vitesse de 3 m par seconde. Le nombre des images permettait de calculer le nombre d'interruptions par seconde et de déterminer toutes les irrégularités.

Premier essai. — L'interrupteur de Wehnelt avait une tige de platine mobile de 0,9 mm de diamètre. Il était rempli d'acide sulfurique à 10 p. 100 dont la température était maintenue constante et égale à 10°. On sait que l'interrupteur ne fonctionne pas s'il n'y a pas dans le circuit une bobine de self-induction ; on mit donc dans le circuit une bobine de 200 spires de fil de 4 mm ayant à l'intérieur un faisceau de fils de fer de 30 mm de diamètre ($L = 0,02$ henry environ).

La tension utilisée était de 110 volts. On photographia 4 séries d'interruption.

Série *a*) La longueur de la tige de platine était de 2 mm, sa surface de 6,29 mm². Il y eut environ 780 interruptions par seconde. La série des images présente 4 lacunes ; en bas il manque 4 images, puis 3, au milieu 2 et en haut 5. Donc sur 41 interruptions il y eut 14 ratés, soit 34 p. 100. D'autre part la distance entre les images n'est pas régulière, et, en faisant les corrections dues à l'irrégularité de mouvement de la plaque, nous avons les distances suivantes : 4,0 — 3,8.

— 3,9 — 3,7 — 3,7 — 3,8 — 4,1 — 4,2 — 4,5 — 3,7 — 3,5 — 3,9 — 3,6 — 3,9 — 3,8 — 3,7 — 4,2 — 4,0 — 4,0 — 3,6 — 4,2 — 4,1 — 4,1 — 4,0 — 4,4 mm.

La plus petite distance est donc de 3,5 mm. La plus grande de 4,5 mm. La moyenne est de 3,9 mm correspondant à 770 interruptions par seconde. Les irrégularités atteignaient donc 25 p. 100.

La figure 1 représente graphiquement ces irré-

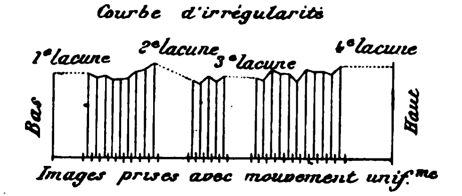


Fig. 1.

gularités. On a porté en abscisses les points d'interruption tels qu'ils se trouveraient placés sur une plaque de mouvement uniforme ; en ordonnées on a porté l'intervalle de temps entre deux interruptions consécutives. Si les interruptions avaient été régulières, la courbe aurait été une parallèle à l'axe des abscisses ; les zigzags caractérisent donc les irrégularités.

Série *b*) Longueur de la tige de platine 4 mm; surface 4,94 mm².

Il y eut environ 500 interruptions par seconde. Il y a deux lacunes : il manque 2 interruptions au bas de la plaque, et 1 au milieu.

Les distances corrigées entre les points sont : 5,8 — 5,8 — 5,2 — 5,6 — 5,3 — 7,4 — 7,0 — 6,5 — 6,4 — 6,4 — 6,3 — 6,3 — 6,3 — 5,9 — 5,4 — 5,0 — 5,3 — 5,6 — 6,0 — 7,8 — 5,0 mm. Moyenne : 6,0 mm. Ecart maximum :

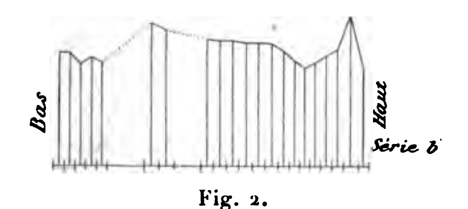


Fig. 2.

30 p. 100. La figure 2 donne une représentation graphique.

Série *c*) Longueur de la tige de platine : 6 mm; surface : 17,59 mm². 430 interruptions par seconde. Distances corrigées entre les images : 7,4 — 6,4 — 7,8 — 6,6 — 7,2 — 7,1 — 6,8 — 7,0 — 7,3 — 6,7 — 6,8 — 7,0 — 6,9 — 7,1 — 7,1 — 7,0 — 7,7 — 7,1 — 7,1 — 7,4 — 7,2 — 6,0 mm. Moyenne : 7,0 mm. Ecart maximum : 14 p. 100 (fig. 3). Il n'y a pas de lacune.

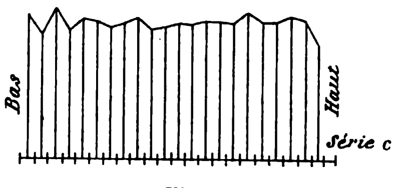


Fig. 3.

Série *d*) Longueur de la tige de platine : 8 mm; surface : 23,24 mm². 400 interruptions par seconde. Il n'y a encore pas de lacune.

Distances des images : 7,6 — 7,5 — 7,5 — 7,4 — 7,4 — 7,3 — 7,5 — 7,4 — 7,9 — 7,8 — 8,0 — 7,9 — 8,2 — 7,3 — 7,8 — 7,1 — 7,1 — 7,0 — 7,7 — 7,7 mm. Moyenne : 7,6 mm. Ecart maximum : 8 p. 100 (fig. 4).

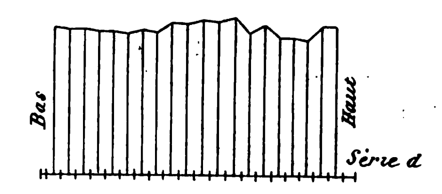


Fig. 4.

On pourrait faire une objection à cette méthode expérimentale : la lumière de l'étincelle de rupture subit plusieurs réfractions avant d'arriver à la plaque photographique, notamment dans le passage de la bulle gazeuse dans le liquide ; la variation de volume de cette bulle pourrait donc apporter des perturbations dans la direction du rayon lumineux et par suite dans la position de l'image.

Mais il faut bien remarquer que le point photographié n'est pas l'image de l'étincelle, mais bien des gaz illuminés par cette étincelle ; les plaques montrent nettement ce fait : l'image n'est pas un point mais une tache plus ou moins étendue. Par suite la réfraction de la lumière en passant du gaz dans l'eau n'intervient pas ; quant aux autres réfractions, on les évite en plaçant les diverses surfaces normalement aux rayons lumineux.

On peut conclure des essais précédents que les irrégularités observées avec l'interrupteur de Wehnelt sont dues, au moins en partie, à l'inter-

rupteur lui-même. Ces irrégularités fournissent une impureté de son de l'interrupteur.

Une autre méthode pour déterminer le nombre des interruptions est basée sur la mesure de la tension dans la bobine insérée dans le circuit au moment de la rupture : cette méthode montre bien les irrégularités de temps, mais non les lacunes. Il faut en conclure que, dans les cas où la méthode photographique montre une lacune, il n'y a pas interruption complète (car l'étincelle de rupture manque), mais que cependant il y a une grande variation de courant avec effet inductif marqué, de sorte que l'on est voisin de la rupture.

Il est intéressant de voir comment se comporte à cet égard l'interrupteur à liquide de Simon. On a donc répété avec cet interrupteur les expériences précédentes ; mais l'objection que l'on pourrait faire, comme précédemment, tombe d'elle-même ; car, par suite de la construction de l'interrupteur, la bulle gazeuse se forme toujours au même endroit.

Comme la section du trou de l'interrupteur ne peut en général être modifiée, on a fait varier le chiffre des interruptions par variation de la self-induction intercalée dans le circuit. Une tension de 110 volts donnant une étincelle trop faible pour impressionner la plaque, on doit recourir à des voltages plus élevés.

Deuxième essai. — Le trou de l'interrupteur avait une section de 2,54 mm². Tension : 250 V.

Série α) Self-induction $= 1.10^7$CGS 295 interruptions par seconde. Distance des images :

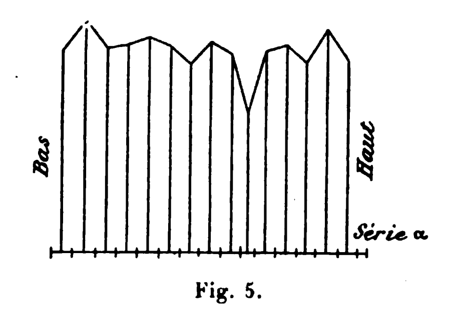


Fig. 5.

10,7 — 12,1 — 10,5 — 10,7 — 11,1 — 10,7 — 9,7 — 10,9 — 10,3 — 7,1 — 10,4 — 10,7 — 9,8 — 11,5 — 9,9 mm. Moyenne : 10,4 mm. Ecart maximum : 32 p. 100. Il n'y eut pas de lacune (fig. 5).

Série β) $L = 2.10^7$CGS 262 interruptions par second. Distances : 10,3 — 11,3 — 11,9 — 12,2 — 10,6 — 11,5 — 11,8 — 12,3 — 11,1 — 11,0 — 10,8 — 12,7 — 11,6 — 12,2 mm. Moyenne : 11,5 mm. Ecart maximum : 10 p. 100. Pas de lacune (fig. 6).

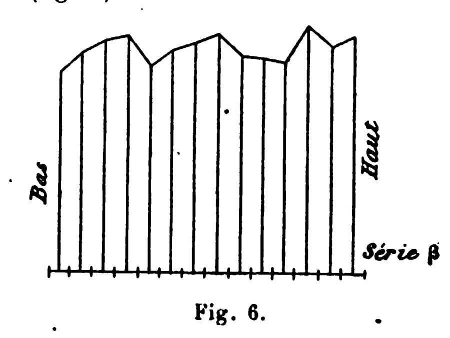


Fig. 6.

Série γ) $L = 3.10^7$CGS 239 interruptions par seconde. Distances : 13,3 — 13,0 — 12,1 — 11,8 — 12,7 mm. Moyenne : 12,6. Ecart maximum : 6 p. 100. 2 lacunes : il manque 4 points en bas et 2 en haut (fig. 7).

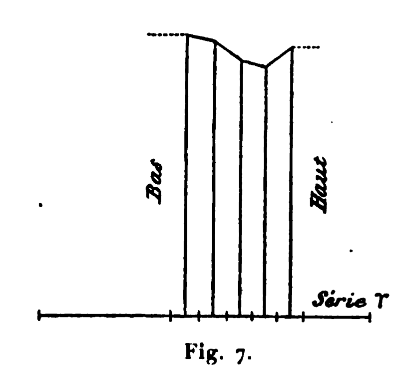


Fig. 7.

Série δ) $L = 4.10^7$CGS 220 interruptions par

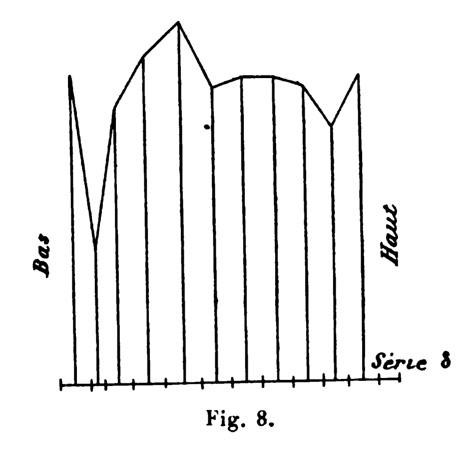


Fig. 8.

seconde. Distances : 14,7 — 6,4 — 13,1 — 15,6 — 17,2 — 14,0 — 14,5 — 14,1 — 12,0 —

14,5 mm. Moyenne : 13,7 mm. Ecart maximum : 53 p. 100. Pas de lacune (fig. 8).

Série ε) $L = 5.10^7$ CGS 200 interruptions par seconde. Distances : 15,4 — 16,5 — 15,8 — 16,4 — 14,8 — 16,6 — 15,7 — 15,3 — 12,6 — 12,7 mm. Moyenne : 15,2 mm. Ecart maximum : 17 p. 100. Pas de lacune (fig. 9).

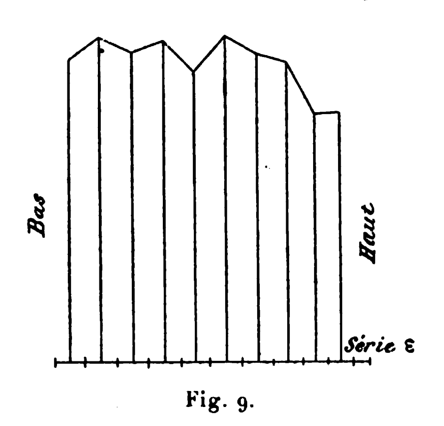


Fig. 9.

Ces essais montrent que l'interrupteur de Simon présente aussi des irrégularités ; mais celles-ci sont bien moins importantes que pour l'interrupteur de Wehnelt. L'interrupteur de Wehnelt a présenté 17 lacunes sur 109 interruptions, soit 16 p. 100 ; l'interrupteur Simon a présenté 5 lacunes sur 58 interruptions, soit 9 p. 100.

D'autre part les irrégularités des intervalles sont plus grandes pour l'interrupteur de Simon que pour celui de Wehnelt. Dans le dispositif employé (ballon à ouverture latérale placé dans un bac d'accumulateur), il est probable qu'il y avait projection du liquide vers le récipient intérieur, de telle sorte que le niveau du liquide dans ce dernier récipient arrivait à dépasser de 20 cm le niveau extérieur. Cette différence de niveau a évidemment dû troubler la régularité des interruptions.

D'ailleurs les irrégularités sont dues à la nature même des interruptions ; par suite de la forme plus ou moins régulière de la bulle gazeuse, des tourbillons liquides, etc., le courant se rompt lentement ou rapidement, complètement ou incomplètement.

Si l'interrupteur actionne une bobine de Rhumkorff, ces irrégularités seront encore accentuées par suite des variations de self du primaire dues à des variations de charge. Si donc on a besoin d'une série régulière d'étincelles, les interrupteurs à liquides sont inutilisables ; et l'on emploiera l'interrupteur à turbine de Boos qui n'a pas les mêmes inconvénients.

E. B.

MAGNÉTISME

Influence de la trempe et des cycles de température sur le moment magnétique et le coefficient de température des aimants permanents en acier, par **H. Frank**. *Drude's Annalen*, t. II, p. 338-359, juin 1900.

Tous les aimants qui ont été étudiés au cours de ce travail ont été fabriqués dans un même lot d'acier anglais. Leurs dimensions étaient presque toujours les mêmes (longueur, 10 cm ; diamètre, 3 mm) et ont varié seulement dans les expériences relatives au coefficient de température destinées à étudier la variation de ce coefficient avec les dimensions des aimants.

La bobine magnétisante, longue de 35 cm, portait 600 tours de fil en 8 couches. Les moments magnétiques étaient mesurés au moyen d'un magnétomètre d'après la formule de Kohlrausch.

Pour la trempe ou le recuit, les aimants étaient chauffés par un courant électrique.

Le moment magnétique d'un aimant varie beaucoup avec la température à laquelle il a été trempé.

Il est minimum quand l'aimant a été trempé au rouge sombre, croît quand la température de la trempe augmente et atteint sa valeur maxima quand la trempe est effectuée au rouge clair. Il décroît ensuite et reprend à peu près, quand la trempe est faite au rouge blanc, la même valeur que pour la trempe au rouge sombre. Quant à la durée de chauffe avant la trempe, elle n'a aucune influence sur le moment magnétique.

La température à laquelle on aimante le barreau influe aussi sur le moment magnétique obtenu, surtout pour les barreaux trempés au rouge sombre. Les expériences ont été effectuées à la température de l'eau bouillante et à la température ordinaire (8 à 10°C). Le moment magnétique est plus grand quand l'aimantation a lieu à basse température, ce qui s'explique aisément parce que l'acier se détrempe déjà partiellement à la température de l'eau bouillante.

Lorsqu'on veut obtenir des aimants constants, on emploie deux méthodes : ou bien, on plonge

l'aimant alternativement dans deux bains maintenus aux températures dans l'intervalle desquelles on veut avoir l'aimant constant, ou bien on le maintient pendant un certain temps à une même température. Avec le premier procédé, on obtient l'aimantation définitive : au bout de quelques opérations quand l'aimant a été trempé au rouge sombre, mais rapidement, quand il a été trempé au rouge vif : la perte d'aimantation se fait encore sentir dans ce dernier cas après 100 opérations. Une fois l'état permanent atteint, une variation de température ne produit plus qu'une variation passagère du moment magnétique, c'est-à-dire que celui-ci reprend sa valeur initiale quand on le ramène à la température primitive. Plus les températures limites sont élevées, plus le coefficient de température est grand : il est entre 80 et 90°, à peu près le double de ce qu'il est entre 15 et 25°. D'autre part ce coefficient de température dépend du degré de trempe et aussi des dimensions et de la forme des aimants. Il est d'autant plus petit que le rapport de la longueur au diamètre est plus grand.

Si on fait parcourir à un aimant un cycle dans lequel la *température seule* varie, on ne constate pas d'hystérésis, ou du moins l'effet de l'hystérésis est trop petit pour que les mesures puissent l'accuser avec certitude.

M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 6 Août [1].

Sur le dosage électrolytique du cadmium, par **Dmitry Balachowsky**. *Comptes rendus*, t. CXXI, p. 384-386.

Un assez grand nombre de procédés de dosage ont été proposés pour le cadmium. Lückoff [2] a proposé l'électrolyse du chlorure $HAzO^3$, H^2SO^3. Et Smith [3] a électrolysé la solution des différents sels dans l'acide acétique, l'acide sulfurique, l'acide azotique, dans le phosphate de sodium, Beilstein et Javein [4] dans le cyanure de potassium, et enfin Classen [5] dans l'acide oxalique. Mais, comme l'ont montré le professeur Classen et M. Heidenreich [6], ces différents procédés ne donnent pas de résultats vraiment pratiques ; on obtient des précipités trop faibles, peu adhérents et en faible poids (0, 2^{gr} Cd, 12^h).

Le procédé suivant a permis à M. Bolachowsky d'obtenir un dépôt métallique absolument pur, parfaitement adhérent, tout en opérant sur une quantité notable de matière :

L'appareil employé était la capsule de Classen recouverte de cuivre par électrolyse de la solution azotique. Le sulfate de cadmium (1,5 gr-2 gr) est dissous dans 150 cm^3 d'eau. On ajoute de l'acide azotique (5 cm^3 pour 1 gr de sel). La température est de 60°. (Force électromotrice $V = 2,8$ et densité $ND_{100} = 0,4$ ampère, au début de l'opération ; $V = 3,5$ et $ND_{100} = 0,6$ ampère à la fin.) Dans ces conditions on obtient un précipité de cadmium à l'état métallique, cristallin et parfaitement adhérent à la cathode, se lavant avec la plus grande facilité.

On constate la fin de l'opération soit avec le sulfure d'ammonium, soit au moyen de la troisième électrode. On peut alors interrompre le courant pour laver à l'eau, à l'alcool et sécher à l'étuve à 100°. Le métal obtenu a un poids parfaitement constant et qui ne varie pas après plusieurs jours d'exposition à l'air.

On peut aussi doser le cadmium par le procédé qui a servi à l'auteur pour le bismuth :

2 gr ($3\,CdSO^4 + 8H^2O$) sont dissous dans 150 cm^3 d'eau. On ajoute 3 gr urée ; $ND_{100} = 0,3$; $V = 2,5$; $T = 40°-60°$. L'appareil est la capsule

(1) Les analyses des autres communications relatives à l'électricité faites à cette séance ont été publiées dans les numéros de *L'Éclairage Électrique* des 13 et 25 août, 1er et 8 septembre, t. XXIV, p. 280, 320, 360 et 395. Celles des communications faites aux séances des 13, 20 et 27 août ont paru dans *L'Éclairage Électrique* du 8 septembre, t. XXIV, p. 397 et suivantes.

(2) *Zeitschrift für anal. Chemie*, t. XV, p. 303.

(3) *Americ. chem. Journ.*, t. II, p. 43 ; 1880.

(4) *Ber. deutsch. chem. Gesel.*, t. XII, p. 759.

(5) *Quantitative Analyse durch Electrolyse*, 1897.

(6) *Ber. deutsh. chem. Gesel.*, t. XXIX, p. 1586.

de Classen dépolie. Durée de l'opération : six à huit heures. Le précipité est semblable à celui de la méthode précédente. On lave sans interrompre le courant à l'alcool et l'on sèche à 100°

On peut encore opérer comme il suit :

On emploie 2 gr de sulfate de cadmium, dissous dans 120 cm³ d'eau et l'on additionne d'aldéhyde formique ou éthylique (3 cm³ pour 1 gr de sel), on utilise une capsule Classen dépolie non recouverte de cuivre. (Le voltage, au début, est de 2,5; à la fin, 3,3. $ND_{100} = 0,4\text{-}0,6$. Durée de l'opération : huit à dix heures.) On chauffe légèrement et, le dépôt terminé, on lave sans interrompre le courant. Les résultats sont les mêmes que précédemment. La capsule se nettoie facilement avec de l'acide azotique concentré. Comme pour le bismuth, la présence de quantités notables de chlore, de brome, d'iode ou d'un grand excès d'AzO^3H est nuisible à l'analyse.

Séance du 3 septembre.

Le dernier signe de vie, par **Augustus D. Waller.** *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 485-486.

Le signe distinctif préconisé par l'auteur et permettant de reconnaître, en quelques instants, si un organe ou un tissu quelconque, soit animal, soit végétal, est vivant ou mort, repose sur le principe suivant :

La matière à l'état de vie répond à une excitation électrique par un courant dans le même sens. Cette même matière, tuée par élévation de température, ne répond plus à l'excitation, ou bien accuse un courant contraire de polarisation.

La réaction positive est un phénomène général et caractéristique de la matière vivante, en tant que vivante, qui se constate sur les nerfs, les muscles, la rétine, la peau, le foie, etc., chez les animaux ; sur les feuilles, les fleurs, les racines, les fruits, les graines, etc., chez les végétaux.

C'est leur dernier signe de vie, au moyen duquel on peut reconnaître sur-le-champ qu'ils sont encore vivants, et même jusqu'à un certain point mesurer et exprimer en chiffres de *combien* ils vivent encore [1].

[1] « Le dispositif au moyen duquel on réalisera l'expérience est des plus simples. Son outillage existe déjà dans tout laboratoire de Physiologie. Pour les réactions non douteuses, sur les objets ayant une résistance faible (par exemple, réaction supérieure à 0,01 volt, résistance inférieure à 100 000 ohms), un galvanomètre accusant $1,10^{-6}$ ampère suffit. Mais pour les réactions plus délicates, sur des objets à résistance élevée (par exemple, réaction au-dessous de 0,001 volt, résistance supérieure à un mégohm), un galvanomètre plus sensible est indispensable. Celui que l'auteur emploie habituellement (modèle Thomson) a une sensibilité telle que $1,10^{-10}$ ampère donne une déviation de 5 mm à 6 mm sur une échelle placée à 2 m.

» Quant aux accessoires, ils se composent d'une paire d'électrodes impolarisables (modèle du Bois-Reymond), d'un appareil à chariot et d'un compensateur. Chacun de ces instruments est relié à deux des bornes d'un clavier à quatre fiches, permettant de *court-circuiter* : 1° la préparation, 2° le galvanomètre, 3° le compensateur, 4° l'appareil excitateur.

» Si l'on désire doser l'énergie excitatrice, on emploiera de préférence la décharge d'un condensateur.

» Deux commutateurs, l'un dans le circuit de l'excitateur, l'autre dans celui du compensateur, serviront à renverser la direction de leurs courants.

» On conduira l'expérience de la manière suivante : l'objet mis en expérience est relié au galvanomètre ; son courant propre ou accidentel est exactement compensé de façon que la fiche contrôlant le galvanomètre puisse être enlevée et replacée sans causer de déviation. Cette fiche étant en place (galvanomètre court-circuité), une excitation électrique est lancée au travers de la préparation. Aussitôt après, la fiche de l'excitateur est replacée et celle du galvanomètre est enlevée. Celui-ci accuse ou n'accuse pas le *coup de feu* provenant de l'objet. On répète la manœuvre avec excitation en sens contraire.

» S'il y a *coup de feu* dans les deux directions, ou dans une direction seulement, l'objet est *vivant*. S'il n'y a pas coup de feu, l'objet est *mort*.

La valeur électromotrice de la réaction varie avec la nature de l'objet, l'intensité de l'excitation et l'espace de temps écoulé après celle-ci jusqu'à l'établissement du circuit galvanométrique. Elle se mesure ordinairement en centièmes et millièmes de volt ; elle diminue plus ou moins rapidement avec l'extinction progressive de la vitalité ; elle est entièrement effacée par l'ébullition.

Séance du 10 septembre.

Sur la cohésion diélectrique des gaz et des vapeurs, par **E. Bouty.** *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 503-504.

M. Bouty a étendu à divers gaz et vapeurs son étude antérieure de la cohésion diélectrique de l'hydrogène, de l'air et du gaz carbonique [1].

Il a été trouvé pour l'expression du champ critique y en fonction de la pression p :

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXIX, p. 398 et 399, 8 septembre 1900.

Acétylène . . . . . . $y = 264 + 740\,p + \frac{0{,}006}{p^2}$

Gaz d'éclairage . . . $y = 279 + 480\,p + \frac{0{,}04}{p^2}$

Vapeur d'eau [1]. . . $y = 333 + 500\,p + \frac{0{,}00106}{p^2}$

Alcool méthylique . . $y = 375 + 616\,p + \frac{0{,}005}{p^2}$

Les autres vapeurs étudiées attaquant toute la graisse des robinets, les expériences ne pouvaient durer que quelques heures ; M. Bouty a dû se borner à employer des pressions supérieures à 1 mm et renoncer à déterminer le coefficient de l'inverse de p^2. Le tableau suivant

Vapeurs.	Température.	a.	b.
Eau	22°,0	333	500
Alcool méthylique	22,3	375	616
Alcool ordinaire	22,8	364	800
Éther	26,4	360	1000
Formiate de méthyle	29,5	364	1020
Propionate d'éthyle	28,7	312	1083
Acétone	24,1	355	1100
Formiate d'éthyle	31,8	360	1119
Acétate de méthyle	28,7	369	1250
Sulfure de carbone	29,6	337	1510
Toluène	28,7	380	1610
Benzine	28,8	377	1677
Moyenne		357	

réunit les valeurs des deux premiers coefficients pour les diverses vapeurs étudiées.

Pour tous ces corps, le coefficient a est très sensiblement le même. Le coefficient b varie au contraire largement [1].

Sur les modifications des propriétés électriques et organiques des câbles, sous l'action prolongée des courants, par **Georges Rheins**. *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 505-506.

« Lorsqu'un câble est soumis à l'action d'un courant de sens variable, caractérisé par des flux égaux d'électricité contraires, il conserve intactes toutes ses propriétés électriques et organiques.

» S'il est soumis à l'action d'un courant toujours de même sens, il semble perdre ses propriétés électriques et organiques, dans un ordre qui reste toujours le même, et passer par quatre états caractérisés par la perte complète d'une propriété électrique et la variation des propriétés encore conservées. Leur ordre de disparition est le suivant : self-induction ; capacité ; isolement ; conductibilité.

» Cette action est due à la pénétration lente du métal de l'âme dans le diélectrique ; elle est indépendante de celui-ci, puisqu'elle a été prouvée pour des câbles sous gutta et sous papier. Dans les deux cas, on a trouvé le cuivre de l'âme dans le diélectrique.

» Pour des câbles sous gutta, en service depuis vingt ans, le cuivre avait pénétré jusqu'à la couche extérieure du câble constitué par deux couches de gutta séparées par du chatterton.

» Dans les câbles sous papier en service de-

(1) A propos de la vapeur d'eau M. Bouty fait les remarques suivantes :

« Contrairement à un préjugé assez répandu, la vapeur d'eau est, par elle-même, parfaitement isolante. S'il paraît en être autrement dans les circonstances habituelles, cela tient exclusivement à un dépôt de buée conductrice qui se forme à la surface des corps isolants, surtout au voisinage de la saturation. Ce dépôt, qui se forme aussi sur la paroi interne de mon ballon, serait un obstacle absolu à l'application de ma méthode, s'il ne se détruisait de lui-même quand la pression s'abaisse suffisamment. Vers la température de 22°, la buée a disparu et les expériences sont devenues possibles à partir d'une pression de 5 mm.

» Les expériences sur les vapeurs de corps un peu éloignés de leur point d'ébullition sont très aisées et présentent une garantie spéciale d'exactitude, car la jauge de Mac-Leod fournit un moyen physique aussi sûr que commode pour s'assurer de leur pureté.

» Cet avantage est cependant contre-balancé par un inconvénient. On ne peut exécuter de mesures à la jauge qu'à des pressions assez basses pour que la vapeur comprimée dans le tube divisé de l'appareil n'y atteigne pas encore sa pression maximum. Les expériences présentent donc une lacune au-dessous de 0,5 mm, quand la précision des mesures barométriques devient insuffisante et qu'on ne peut encore utiliser la jauge. »

(1) On peut essayer de comparer les valeurs relatives de b aux chemins moyens moléculaires, pour reconnaître si la relation approchée de M. Max Wolf subsiste toujours. Malheureusement, on doit faire usage des valeurs du coefficient de frottement interne, déterminées par divers expérimentateurs dans des conditions peu comparables. Tout ce que l'on peut dire, c'est que l'ordre dans lequel se rangent les coefficients b est, à quelques inversions près, l'ordre inverse des chemins moyens, et qu'on constate le plus souvent une proportionnalité grossière, analogue à celle qui se présente pour l'hydrogène et l'acide carbonique.

On peut aussi, mais avec moins de succès, comparer l'ordre des valeurs de b à celui des valeurs de la constante diélectrique K. Il y a des analogies et quelques inversions, mais il n'y a pas de proportionnalité, même approchée, entre les valeurs de ce coefficient b et celles de K — 1.

puis quatre ans et constitués également par deux couches de papier, la couche interne seule contenait du cuivre.

» La cause de la pénétration du cuivre de l'âme dans le diélectrique est assez complexe, puisqu'elle semble dépendre à la fois de la nature et des particularités du courant, et de la nature du milieu dans lequel est placé le câble. La comparaison des cas observés permettra sans doute de distinguer la cause effective. »

Séance du 24 septembre [1].

Expérience de télégraphie sans fil, avec le corps humain et les écrans métalliques, par **E. Guarini** et **F. Poncelet**. *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 540-541.

« Nous nous sommes servis d'une machine de Wimshurst, munie de ses condensateurs habituels pour la production de l'électricité à haut potentiel. A quelques mètres de ce transmetteur, nous avons placé un récepteur Marconi ordinaire.

» Les ondes électriques, engendrées par les étincelles produites entre les deux boules de la machine de Wimshurst rayonnent dans toutes les directions. Au point de vue de l'action sur le cohéreur, ces ondes peuvent être divisées en trois parties : la première arrive directement sur le cohéreur ; la seconde ne le rencontre qu'après réflexion ; enfin la troisième partie est sans action sur lui. Dans notre expérience, les ondes directes avaient seules de l'action sur le cohéreur, car celui ci restait inerte lorsque nous les interceptions en interposant un écran entre lui et la machine de Wimshurst.

» Le corps humain remplissait parfaitement cet office d'écran : la sonnerie du récepteur restait silencieuse, chaque fois qu'il était interposé entre le récepteur et la machine de Wimshurst. On ne peut pas dire qu'il ait fait l'office de conducteur à la terre, car il était soigneusement isolé du sol. Il y avait là probablement un phénomène analogue à celui que l'on constate en radiographie.

» Une tôle de fer-blanc, de faible épaisseur, ayant été interposée entre la machine et le cohéreur, celui-ci a continué à fonctionner ; mais, lorsque nous avons mis en communication avec le sol la face de la tôle de fer tournée vers le transmetteur, le cohéreur a cessé de fonctionner. Les radiations s'étaient donc écoulées dans le sol.

» Puisque l'interposition de la tôle de fer permet le fonctionnement du cohéreur lorsque la tôle est isolée, et l'empêche lorsqu'une de ses faces est mise à la terre, il faut conclure que la tôle métallique a constitué un nouveau radiateur fonctionnant par induction d'une face sur l'autre.

» Les ondes hertziennes seraient donc susceptibles de phénomènes d'induction, phénomènes qu'on peut éviter par la mise à la terre d'une des faces de l'écran métallique, siège de l'induction. L'expérience des cloisons mises à la terre a une grande importance dans le répétiteur Guarini, pour empêcher la répercussion des signaux d'un répétiteur à l'autre, et pour éviter l'action du transmetteur sur le cohéreur du même poste. »

Aluminate monocalcique cristallisé obtenu au four électrique, par **Em. Dufau**. *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 541-544.

En chauffant au four électrique un mélange intime de 100 parties d'alumine *fortement calcinée* et de 60 parties de chaux anhydre, avec un arc de 1000 ampères sous 45 volts, M. Dufau a obtenu après trois minutes de chauffe, une masse grise entièrement fondue qui, après cassure, se montre constituée par un épais feutrage de *fines aiguilles* brillantes. Dans les cavités qui boursouflent la masse, ces aiguilles libres, atteignant plusieurs millimètres de longueur. peuvent être séparées à la pince et examinées immédiatement au microscope. L'analyse montre que ces cristaux ont une composition répondant à la formule Al^2O^4Ca.

M. Dufau a cherché à produire des aluminates polybasiques en chauffant dans les mêmes conditions des mélanges contenant deux, puis trois molécules de chaux pour une d'alumine. La discussion des résultats des essais le conduit à penser qu'il est probable que la formation d'aluminates basiques n'est pas réalisable dans ces conditions.

(1) Aucune communication sur l'électricité n'a été faite à la séance du 17 septembre.

Séance du 1er octobre.

Sur la distribution de la composante horizontale du magnétisme terrestre en France, **par E. Mathias.** *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 354-354.

La différence entre les valeurs d'un élément de magnétisme terrestre en deux lieux peu éloignés étant une fonction très lente du temps, et presque indépendante de l'altitude, on doit pouvoir les représenter par une fonction linéaire de la forme x (Δ long.) + y (Δ lat), x et y étant des constantes numériques convenables et Δ long et Δ lat les différences de longitude et de latitude des deux lieux considérés.

M. Mathias a cherché les valeurs de x et de y pour la différence ΔH entre la valeur de la composante horizontale en un lieu de la région de Toulouse et la valeur du même élément à Toulouse même, à la même heure locale. Il a dans ce but utilisé 70 observations ; au moyen d'une formule provisoire à coefficients très simples, trouvée aisément après quelques tâtonnements, il a pu éliminer 16 observations se rapportant à des localités *anomales*. Les 54 observations restantes comprenaient 14 observations de M. Moureaux, 3 de M. Fitte et 37 de lui-même se rapportant à tout ou partie des 8 départements suivants : Ariège, Gers, Haute-Garonne, Hautes-Pyrénées, Lot, Lot-et-Garonne, Tarn, Tarn-et-Garonne. Les 54 équations à deux inconnues x et y obtenues ainsi ont été résolues par la méthode des moindres carrés et ont fourni la formule

$$\Delta H = -1{,}26\,(\Delta\,\text{long.}) - 7{,}42\,(\Delta\,\text{lat.})\ (^1),$$

dans laquelle ΔH est la différence (X — Toulouse) pour une époque moyenne voisine de 1896, cette différence étant exprimée en unités du cinquième ordre décimal, (Δ long.) et (Δ lat.) étant exprimés en minutes [1].

Les mesures de déclinaison et d'inclinaison faites dans la région de Toulouse ont pu être représentées par des expressions analogues à la formule (1). Pour la déclinaison, en particulier, M. Mathias disposait de 88 observations dont 36 ont du être considérées comme anomales ; la formule qui représente très bien les 52 autres observations ne représente nullement la distribution de la déclinaison dans les départements circonvoisins. On voit donc que, tandis que la composante horizontale se comporte comme un élément régulier, fonction continue de la longitude et de la latitude géographiques, la déclinaison est d'une nature différente et apparaît comme une fonction discontinue des mêmes coordonnées géographiques.

L'inclinaison variant assez peu dans l'étendue de la France, la composante horizontale à une époque donnée, est nne fraction sensiblement constante de la force magnétique totale ; M. Mathias se propose de rechercher si ce vecteur et ses différentes composantes *verlicale*, *nord* et *ouest* sont ou non susceptibles d'être représentés par une loi de distribution de la forme (1).

(1) Il est remarquable, ajoute M. Mathias, que *la formule précédente s'applique à toute la France*, abstraction faite des anomalies, bien entendu. Grâce à elle, j'ai pu retrouver, avec des différences généraiement inférieures aux erreurs d'observation, la plupart des nombres que M. Moureaux a déterminés dans son travail magistral sur la Carte magnétique de la France, nombres qu'il a ramenés tout récemment à l'époque uniforme du 1er janvier 1896 et que l'on peut dès lors comparer avec la formule (1). Lorsque la différence des ΔH calculés et observés est inférieure à 30 ou 35 unités du cinquième ordre, on peut considérer la station X comme *régulière* ; si la différence est supérieure à 40 unités, on a affaire à une *anomalie* dont l'importance est proportionnelle à la valeur absolue de cette différence. On peut ainsi séparer très simplement les stations anomales des stations régulières et poser, relativement à la constance et à l'intensité des anomalies de la composante horizontale *dans le temps*, des problèmes qui devront être résolus ultérieurement. Toutefois, la formule (1), si satisfaisante en ce sens qu'elle démontre à la fois l'admirable régularité des mesures de M. Moureaux et la précision des mesures faites dans la région de Toulouse, n'est pas définitive, car les différences entre les nombres calculés et observés sont négatives dans l'ouest et le nord de la France et positives dans l'est et le sud-est ; les valeurs absolues des coefficients de (Δ long.) et de (Δ lat.) sont donc légèrement trop grandes. Le calcul des corrections à apporter à ces coefficients sera fait par les moindres carrés en utilisant quatre cents stations régulières visitées par M. Moureaux ou moi-même et appartenant à toutes les régions de la France. C'est la formule ainsi obtenue qui permettra le triage définitif des stations régulières et anomales et donnera en grandeur et en signe la valeur des anomalies pour la composante horizontale.

Le Gérant : C. NAUD.



Tome XXV. Samedi 20 Octobre 1900. 7e Année. — N° 42

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

GROUPE ELECTROGÈNE DE 1 400 KILOVOLTS-AMPÈRES DE MM. DUJARDIN ET SCHNEIDER

Le groupe électrogène Dujardin-Schneider est le plus puissant, au point de vue électrique tout au moins, de la section française. La puissance apparente de l'alternateur est en effet de 1 400 kilovolts-ampères pour une puissance vraie de 1 120 kilowatts ou 1 525 chevaux.

Cet alternateur, construit par les ateliers du Creusot, sous la direction de M. O. Helmer, ingénieur du service électrique, est commandé par un moteur à vapeur qui est également le seul de son genre dans la section française, et par la description duquel nous commencerons l'étude de ce groupe important dont la figure 1 représente une photographie.

Moteur a vapeur. — Ce moteur, montré en vue en plan et de face sur les figures 2 et 3, est à triple expansion à 4 cylindres : un à haute pression, un à moyenne pression et deux à basse pression. Il est du type horizontal à condensation et à deux manivelles calées à 90°.

Le volant servant d'inducteur a un poids suffisant pour donner un PD² égal à 840 000 mètres-kilogrammes, ce qui assure à 72 tours un coefficient d'irrégularité dans le tour d'environ 1/250.

Les deux cylindres à basse pression sont fixés aux bâtis correspondants; à celui de droite est attelé en tandem le cylindre à haute pression, et à celui de gauche le cylindre à moyenne pression. Ces cylindres reposent simplement sur des plaques de fondations qui leur servent de glissières et sont ainsi entièrement libres dans leur mouvement de dilatation.

La distribution de la vapeur dans le cylindre à haute pression se fait par 4 obturateurs

genre Corliss, placés à la partie inférieure du cylindre, et par déclics commandés par le régulateur pour l'admission.

La distribution dans le cylindre à moyenne pression est du même type, mais à déclic variable à la main pour l'admission.

Dans les cylindres à basse pression, la distribution se fait aussi par 4 obturateurs placés à la partie inférieure des cylindres, mais sans déclic.

Chaque cylindre est muni d'une enveloppe traversée par la vapeur venant directement

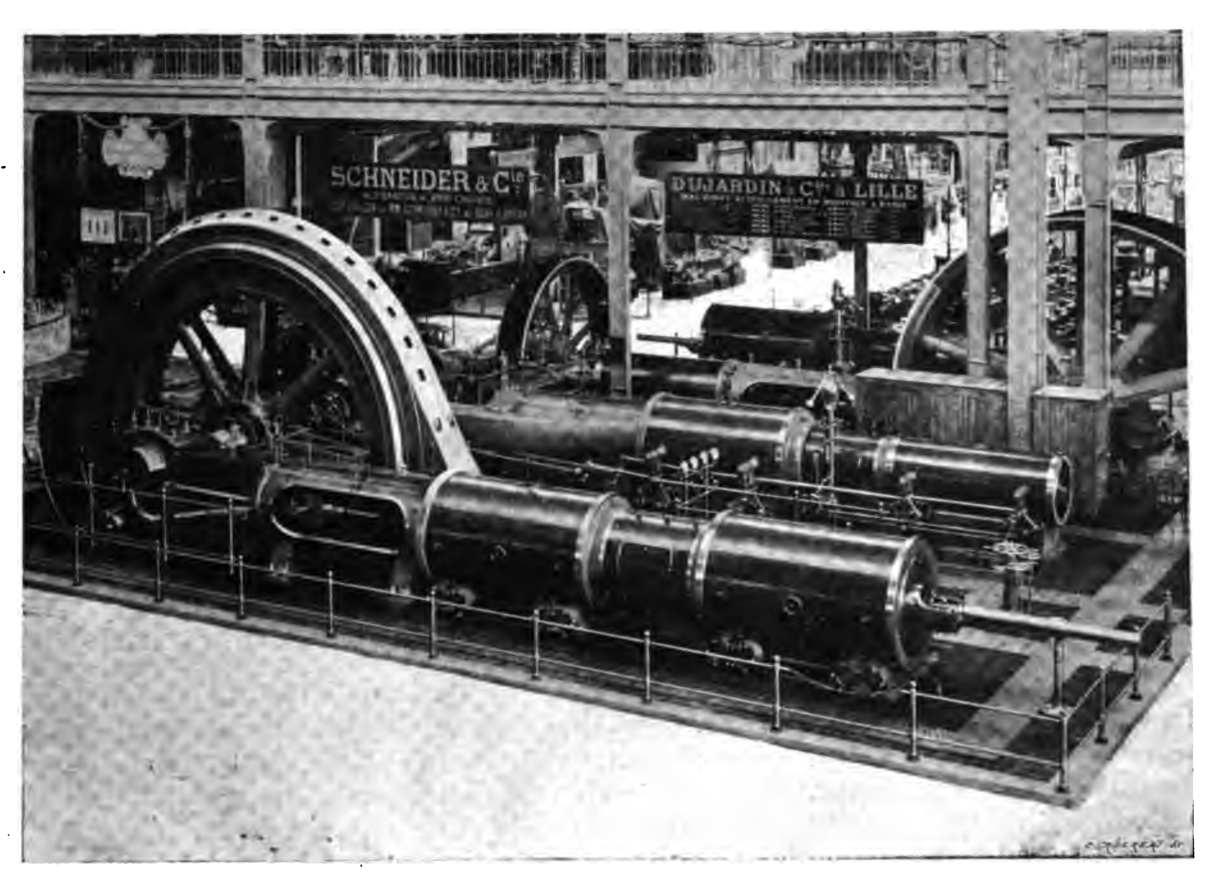


Fig. 1. — Groupe électrogène de 1 400 kilovolts-ampères de MM. Schneider et Cie et de MM. Dujardin et Cie.

de la chaudière et avant son entrée dans le cylindre. Le fond et le couvercle de ce cylindre sont également chauffés par la vapeur vive venant du sécheur intercalé dans la conduite de vapeur, aussi près que possible du petit cylindre.

Les enveloppes des cylindres à basse et moyenne pression, les fonds et les couvercles du premier et les fonds du second sont chauffés par de la vapeur détendue à 6 kgr environ; il en est de même des réservoirs intermédiaires placés entre le cylindre à haute pression et le cylindre à moyenne pression et entre ce dernier et les deux cylindres à basse pression. Des appareils à dilatation sont interposés entre chacun de ces réservoirs et les cylindres correspondants.

Chaque groupe de deux cylindres est pourvu d'un condenseur par mélange et de deux pompes à air verticales, à simple effet, à double corps de pompe et à 3 zones de clapets de petit diamètre.

La commande des pistons de chaque groupe de pompes à air se fait par un balancier à trois bras actionné par les crosses des tiges de pistons à vapeur. Les pistons des pompes étant attelés aux deux bras horizontaux, les périodes d'aspiration sont alternées.

Deux appareils de sûreté dits casse-vide sont placés dans chaque condenseur à des hauteurs différentes pour supprimer par le soulèvement de leurs flotteurs et l'ouverture de leurs soupapes, qui établissent la communication avec l'air extérieur, l'arrivée de l'eau et

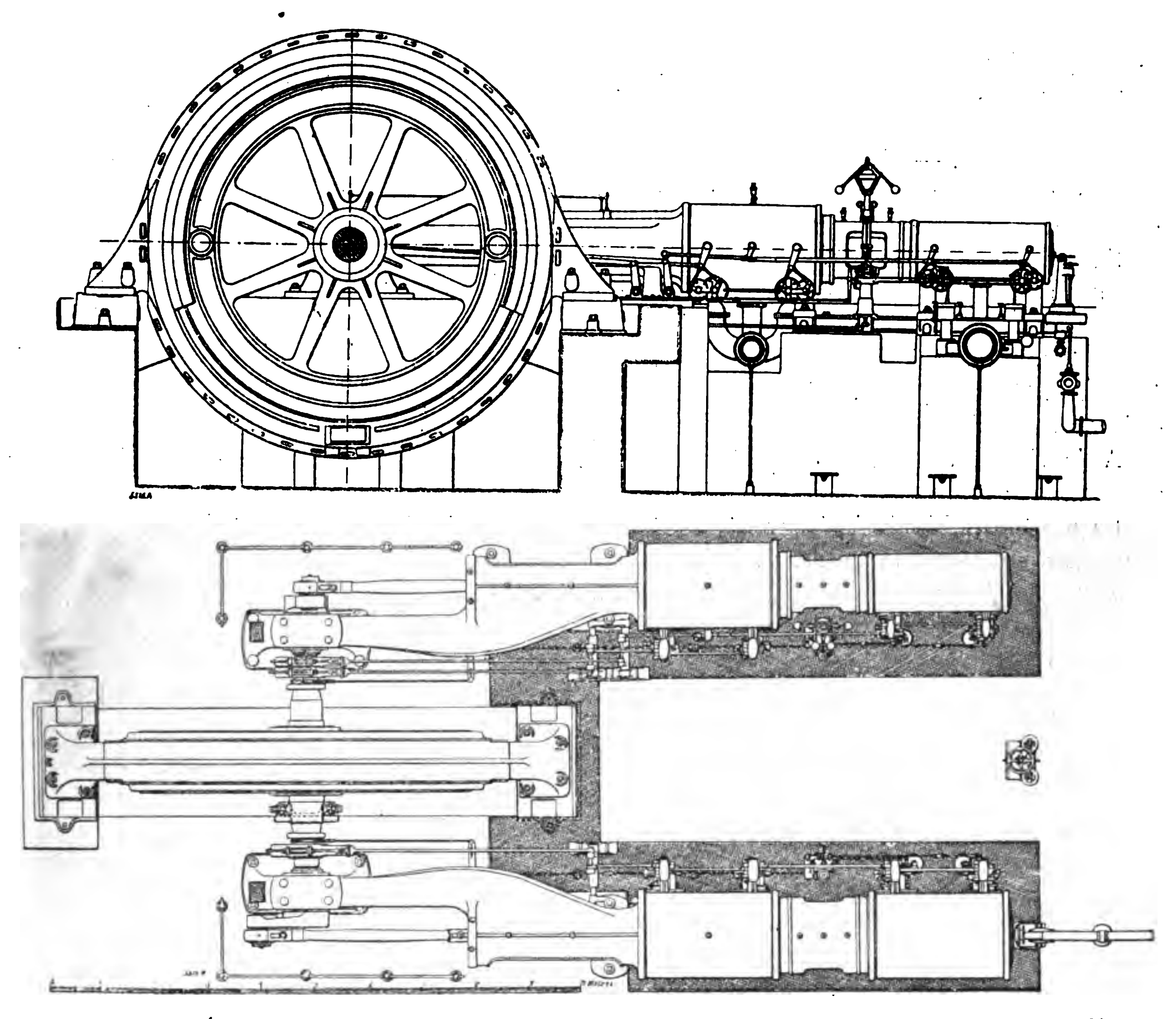


Fig. 2 et 3. — Élévation et plan du groupe électrogène de 1400 kilovolts-ampères de MM. Schneider et Cie et de MM. Dujardin et Cie.

éviter les coups d'eau que pourrait provoquer une élévation accidentelle du niveau de l'eau à l'intérieur du condenseur.

Le machine peut marcher à échappement libre.

Le graissage intérieur des cylindres se fait par des graisseurs mécaniques à pompe. Toutes les autres pièces en mouvement sont graissées en marche par une circulation d'huile refoulée par deux petites pompes rotatives, une pour chaque moteur.

Une colonnette placée entre les deux cylindees fixés aux bâtis porte tous les organes de manœuvre pour la mise en route.

Les dimensions principales des moteurs sont :

Diamètre du cylindre à haute pression	61 cm
Diamètre du cylindre à moyenne pression	105 cm
Diamètre du cylindre à basse pression	105 cm
Course commune des pistons	165 cm
Vitesse angulaire en t : m	72

A la pression de 11 kg cm² avec une détente de 19 fois le volume de la vapeur : la puissance indiquée est de 1 700 chevaux : 550 sur le cylindre à haute pression, 560 sur le cylindre à moyenne pression, et 295 sur chacun des cylindres à basse pression.

Alternateur. — L'alternateur à courants triphasés est du type hétéropolaire à inducteur mobile, et d'une masse suffisante pour permettre de supprimer le volant de la machine à vapeur et d'adopter seulement deux paliers pour supporter l'arbre.

Sa puissance apparente est de 1 400 kilovolts-ampères avec un facteur de puissance de 0,8 au minimum, ce qui correspond à une puissance vraie minima de 1 120 kilowatts aux bornes.

La tension aux bornes est de 3 000 volts, c'est également la tension par phase l'induit étant monté en triangle. L'intensité du courant dans chaque phase est de 156 ampères, ce qui correspond à une intensité de 270 ampères dans chaque conducteur extérieur.

A la vitesse angulaire de 71,5 tours par minute, la fréquence est de 50 périodes par seconde.

La photographie de la figure 4 représente une vue de l'alternateur et du groupe transformateur servant à l'excitation.

Inducteur. — L'inducteur, constitué par un volant en fonte à 8 bras doubles nervurés, porte à sa périphérie des pôles rapportés, entourés chacun de leur bobine inductrice.

En raison de ses dimensions, le volant, comme le montrent les figures 5 et 6, a été fondu en deux parties assemblées suivant un diamètre ; deux frettes d'acier forgé assurent l'assemblage du moyeu et sa fixation sur l'arbre de la machine à vapeur.

La jante en forme d'U est assemblée par quatre frettes en forme d'anneaux en acier de haute résistance, posées à chaud et logées dans des gorges pratiquées à cet effet sur les deux faces de la jante.

Indépendamment de ces deux frettages, deux boulons d'assemblage du moyeu facilitent le montage du volant et la mise en place des frettes ; l'entraînement est assuré par des clavettes à 120°.

Les pôles inducteurs, au nombre de 84, en acier moulé, sont répartis uniformément à la périphérie du volant. Les noyaux polaires (fig. 7 et 8) de forme circulaire et d'un diamètre de 16 cm sont encastrés dans le volant, disposition qui réduit l'influence des joints au point de vue magnétique et donne mécaniquement toute la sécurité désirable.

Les épanouissements polaires ont une forme rectangulaire et une section, par l'axe du pôle, trapézoïdale, de façon à obtenir une répartition du flux permettant d'avoir une courbe périodique de tension voisine de la sinusoïde. Les dimensions des épanouissements sont de 25 cm sur 16 cm.

Les pôles sont retenus à la jante par une vis traversant celle-ci complètement, un petit ergot empêche leur rotation.

Chacun d'eux porte la bobine inductrice correspondante formée d'un ruban de cuivre enroulé sur champ en hélice ; un serrage rationnel immobilise chacune d'elle et permet



d'obtenir des éléments d'une grande rigidité qui résistent sans se déformer aux effets de la force centrifuge à une vitesse tangentielle qui atteint 25 m par seconde.

La section du ruban de cuivre est de 25 × 3 ou 75 mm², et le nombre de spires de 45.

Les 84 bobines sont réunies en série, et les extrémités du circuit ainsi formé reliées à

Fig. 4. — Alternateur de 1 400 kilovolts-ampères de MM. Schneider et Cie du Creusot.

deux bagues de bronze montées sur un moyeu en fonte entraîné par l'arbre de la machine à vapeur. Des frotteurs métalliques solidaires d'un support fixe amènent le courant d'excitation aux bagues.

La résistance de l'inductenr est de 0,55 ohm environ à 25°, et le poids de cuivre sur l'inducteur de 1 500 kg environ.

Le diamètre de l'inducteur est de 6,388 m et celui de la jante de 6,038 m.

La largeur de la jante atteint 61,5 cm.

Le poids de l'inducteur sans l'arbre est de 54 000 kg.

Induit. — La partie fixe comporte deux demi-couronnes en fonte assemblées suivant un

diamètre horizontal et formées chacune de deux parties boulonnées emprisonnant entre elles les tôles de l'induit.

Deux pattes rapportées et clavetées sur la couronne servent à la fixation de l'induit sur deux caissons en fonte qui reposent sur les fondations du groupe. L'assemblage des pattes et de la couronne présente des surfaces d'appui inclinées suffisamment sur la verticale, pour permettre l'enlèvement de la demi-couronne supérieure en cas de nécessité.

Les tôles de l'induit sont groupées en quatre paquets laissant entre eux des intervalles d'air favorisant la ventilation et améliorant les conditions d'échauffement de l'induit.

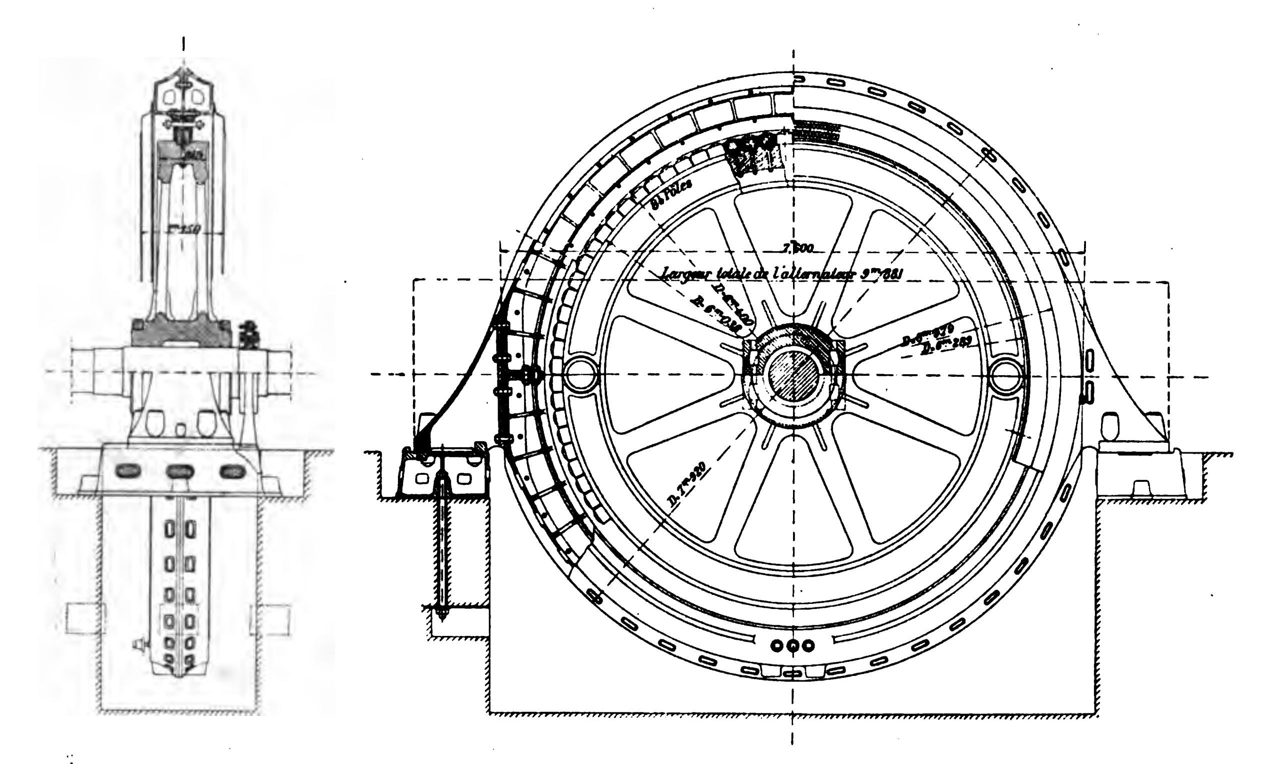


Fig. 5 et 6. — Vue de face et en élévation de l'alternateur de MM. Schneider et Cie du Creusot.

Les tôles de l'induit ont une épaisseur de 0,5 mm et les quatre paquets sont serrés chacun entre des tôles de même forme que les premières, mais de 1 mm d'épaisseur pour les faces en regard des paquets et de 4 mm pour les faces extérieures des deux paquets extrêmes. Les tôles sont maintenues serrées par des boulonss.

L'enroulement induit est réparti dans 504 encoches à raison de 6 encoches par pôle. Toutefois 492 encoches seulement reçoivent les bobines induites; 12 rainures ont été laissées vides pour que le démontage de la demi-couronne supérieure puisse s'exécuter sans entraîner de modifications importantes dans le bobinage. Des connexions très simples complètent les circuits des 3 phases groupées en triangle et comprenant chacune 82 bobines élémentaires en série.

Les encoches sont à demi fermées, la largeur de la rainure dans l'entrefer étant de 9 mm seulement pour une largeur de 21 mm dans l'encoche. La profondeur de chaque rainure est de 55 mm dont 2 pour la partie étroite voisine de l'entrefer.

Le bobinage induit est constitué par un câble en cuivre laminé très maniable de 38 mm² de section; pour éviter les risques de court-circuit, les 3 phases occupent des

positions différentes sur la surface de l'induit, et les bobines d'une même phase sont identiques comme forme et position. Grâce à cette précaution, les distances entre bobines permettent d'obtenir aux bornes des voltages très élevés avec un faible isolement du câble.

Le nombre des conducteurs par encoche est de 6, chaque bobine élémentaire a par suite 6 spires, et chaque bobine complète, 12 spires.

Les bornes, placées à la partie inférieure de l'induit, sont formées de blocs de bronze montés sur isolateurs en porcelaine du genre « Cloche. » Des vis de serrage fixent les câbles qui y aboutissent.

Une couronne de protection pour le bobinage induit, formée de segments en fonte

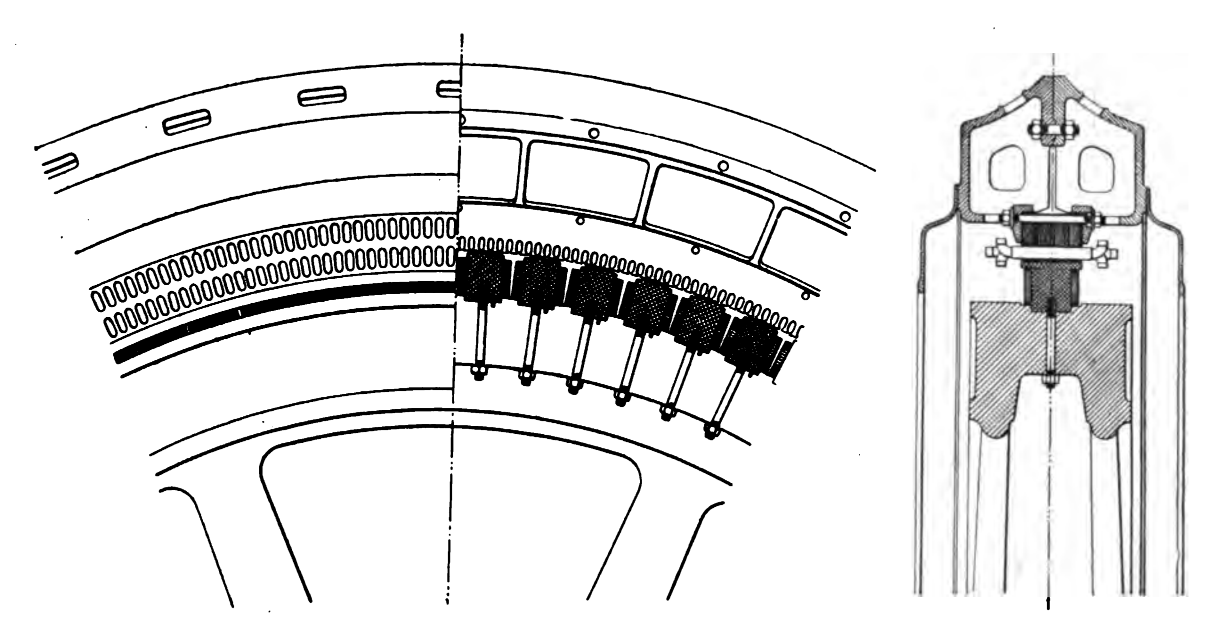


Fig. 7 et 8. — Coupes de l'alternateur de 1 400 kilovolts-ampères des ateliers du Creusot.

ajourée, est fixée de chaque côté de la carcasse, dans la partie de l'alternateur qui émerge des fondations.

La largeur de l'ensemble des tôles induites est de 25 cm et celle de l'induit complet sans les couronnes protectrices de 75 cm. Avec celles-ci, la largeur atteint 1,15 m.

Le diamètre d'alésage de l'induit est de 6,400 m, ce qui correspond à un entrefer de 6 mm. Le diamètre extérieur des tôles est de 6,780 m, leur hauteur radiale est donc de 19 cm.

Le diamètre extérieur de l'induit atteint 7,92 m par suite de la forme spéciale de la carcasse d'induit.

La résistance de l'induit est de 0,34 ohm par phase à froid (20°).

Le poids de l'induit est de 34 tonnes, ce qui correspond à un poids total de l'alternateur proprement dit de 88 000 kg.

Excitation. — La tension d'alimentation de l'inducteur est de 140 volts, et l'intensité d'excitation en charge 230 ampères environ. L'Exposition n'ayant pu fournir que du courant à 450 volts, on a dû ramener la tension à 150 volts à l'aide d'un transformateur rotatif formé de deux dynamos à courant continu de 40 kilowatts accouplées mécaniquement par un manchon élastique.

***

Tableau de distribution. — Le tableau se compose d'une ossature métallique de 3 m de largeur, 2,60 m de hauteur et 1,100 m de profondeur. La façade supporte 3 panneaux de marbre avec soubassement en pitchpin verni et un fronton décoratif porteur d'une horloge. Toutes les autres faces sont boisées et une porte ménagée sur un des côtés permet de pénétrer derrière les panneaux pour la visite des connexions.

Un panneau se rapporte au moteur du transformateur, celui du milieu à l'excitation de l'alternateur et enfin le troisième au départ des feeders.

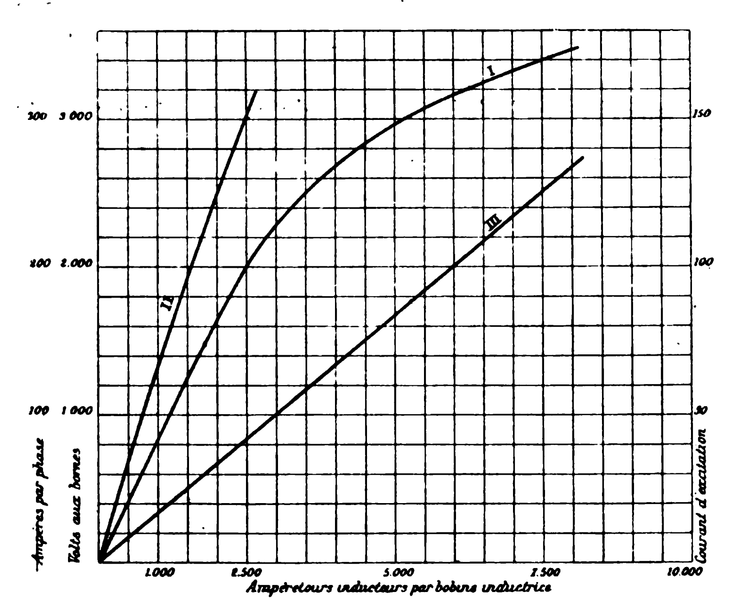


Fig. 9. — Caractéristiques de l'alternateur de 1400 kilovolts-ampères de MM. Schneider et Cie.

I. Caractéristique à vide à 72 tours ;
II. Caractéristique en court-circuit ;
III. Correspondance du courant d'excitation et des ampère-tours inducteurs par bobine inductrice.

Pour les appareils de mesure on a adopté le type thermique; le voltmètre alternatif est branché sur la basse tension fournie par un transformateur triphasé, et les ampèremètres alternatifs directement intercalés dans les circuits à haute tension. Aussi l'isolement de ceux-ci a-t-il été l'objet de précautions spéciales; un commutateur à trois directions permet d'obtenir le voltage de l'une quelconque des phases.

Les différents interrupteurs sont à rupture rapide. Les coupe-circuits à courants alternatifs ont été placés dans les galeries des fondations sous le tableau pour éviter les conséquences qu'ils pourraient entraîner en cas de fusion.

Résultats d'essais. — Nous avons représenté sur la figure 9 les caractéristiques à vide et en court-circuit de l'alternateur du Creusot.

La courbe I représente la tension par phase et la courbe II l'intensité du courant en court-circuit par conducteur extérieur, toutes deux en fonction des ampèretours par bobine inductrice.

La droite III indique la correspondance des ampèretours au courant d'excitation.

On voit que le courant d'excitation pour la marche à vide est de 140 ampères.

En charge pour 1 120 kilowatts avec un facteur de puissance égal à l'unité, le courant d'excitation est de 160 ampères. Dans ce cas, la suppression complète de la charge pour une vitesse restant constante, n'occasionne qu'une élévation de tension de 4 p. 100 aux bornes de l'alternateur.

Pour une charge normale de 1 120 kilowatts vrais avec un facteur de puissance de 0,8 l'intensité du courant d'excitation monte à 230.

L'intensité du courant d'excitation, pour obtenir en court-circuit le courant normal de 156 ampères par phase ou de 270 ampères par conducteur extérieur, est de 57 ampères et correspond à une tension induite égale à un peu moins des deux tiers de la tension normale aux bornes. Le rendement de l'alternateur à 1 120 kilowatts avec un facteur de puissance égal à l'unité, est de 94 p. 100.

J. REYVAL.

GROUPE ÉLECTROGÈNE DE 200 KILOWATTS DE LA VEREINIGTE ELEKTRICITÆTS GESELLSCHAFT ET DE MM. MÆRKY BROMOVSKY ET SCHULZ

La Vereinigte Elektricitæts Gesellschaft (Société anonyme réunie d'électricité) de

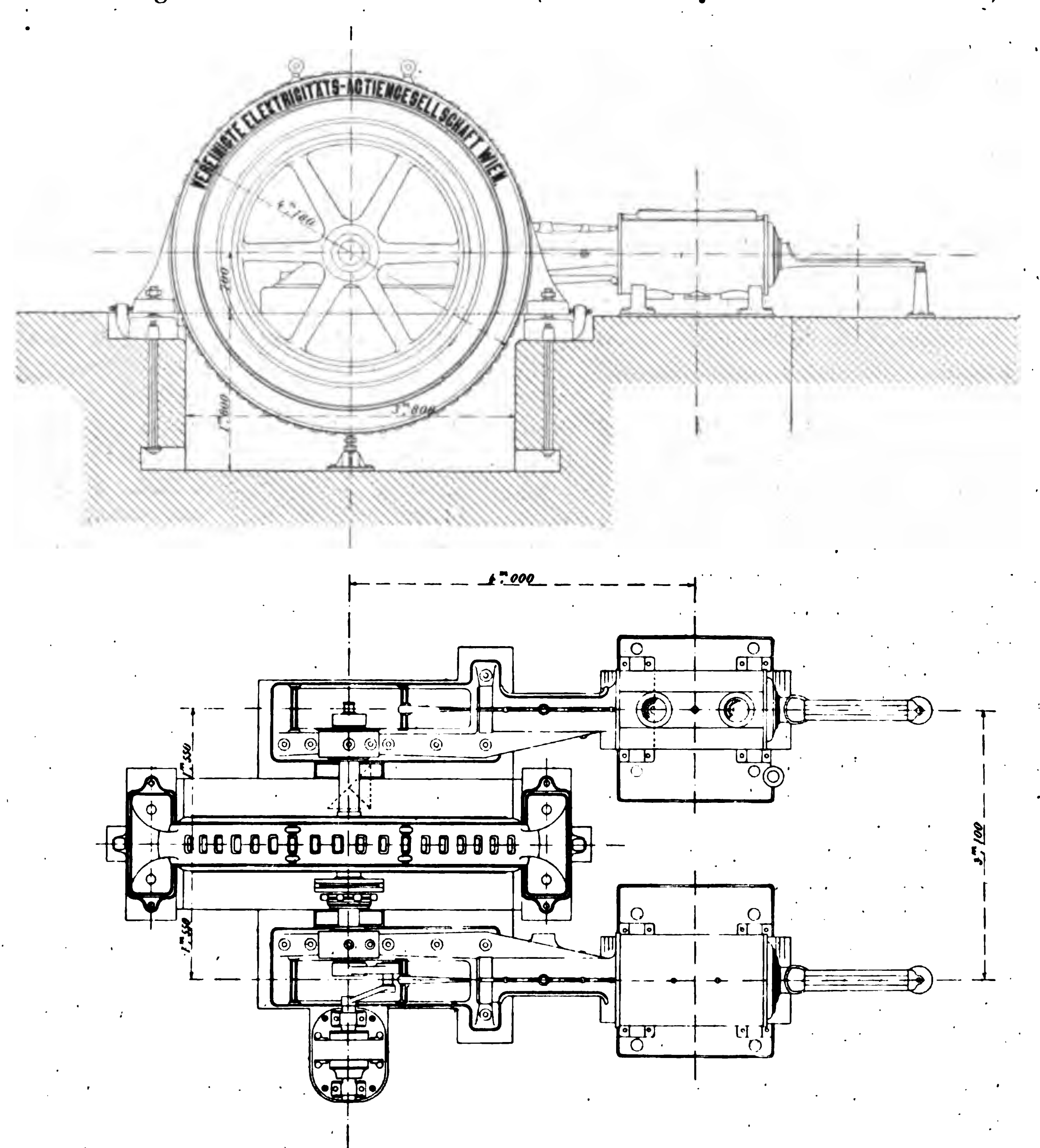


Fig. 1 et 2. — Elévation et plan du groupe électrogène de la Vereignite Elektricitæts Actiengesellschaft et de MM. Mærky, Bromovsky et Schulz.

Vienne et MM. Mærky, Bromovsky et Schulz ont exposé en commun, la première pour l'alternateur, et les seconds pour le moteur à vapeur, un groupe électrogène, non utilisé pour le service de l'Exposition.

Le groupe complet que nous allons décrire d'après les renseignements qui nous ont été fournis par M. Bak, ingénieur de la Société anonyme réunie d'électricité, est représenté sur les figures 1 et 2.

Moteur a vapeur. — Le moteur à vapeur construit par MM. Mærky Bromovsky et Schulz est du type compound conjugué à cylindres horizontaux et à condensation.

Les dimensions principales en sont les suivantes :

Diamètre du cylindre à haute pression	46 cm
Diamètre du cylindre à basse pression	70 »
Course commune des pistons des cylindres.	90 »
Vitesse angulaire en tours par minute.	110 «

La pression normale de la vapeur est de 12 kg : cm², la vapeur arrive à la machine surchauffée à 280° centigrades.

La puissance normale de la machine est de 350 chevaux indiqués.

La distribution de la vapeur se fait sur le cylindre à haute pression d'après le système à soupapes du docteur Proel et sur le cylindre à basse tension par tiroirs cylindriques ordinaires.

Les tiroirs cylindriques du gros cylindre sont placés tous les quatre à la partie inférieure et sont actionnés par un excentrique réglable à volonté de façon à permettre facilement la marche à échappement libre. Leur mouvement est très simple : il n'y a qu'un seul intermédiaire entre eux et le régulateur.

Celui-ci est à ressort et est disposé sur le bâti. Il est actionné par engrenage unique et agit directement sur la distribution.

Pour mettre la machine en synchronisme avec une autre pour le couplage des alternateurs, on a disposé un appareil spécial qu'on peut actionner électriquement depuis le tableau de distribution, et au moyen duquel on peut faire varier la vitesse angulaire de la machine pendant la marche de 3 p. 100 environ.

Le cylindre à haute pression n'a pas d'enveloppe de vapeur, celle-ci est admise par une conduite spéciale à la chambre des soupapes. Cette conduite est séparée du cylindre mais venue de fonte avec lui de façon à ce qu'elle puisse facilement supporter les variations de température.

Le cylindre à basse pression a une enveloppe de vapeur traversée par la vapeur vive avant son arrivée au petit cylindre.

Les manivelles sont calées à 90°.

La pompe à air, qui ne se trouve pas à l'Exposition, est à double effet et est actionnée par la tige prolongée du piston du cylindre à basse pression.

L'excitatrice est commandée par une contre-manivelle pourvue d'un tourillon sphérique; elle est située du côté du gros cylindre.

Alternateur. — L'alternateur (fig. 3 à 7) est du type volant ; il est placé entre les cylindres. C'est une machine à courants triphasés à basse tension.

La puissance normale est de 220 kilowatts et la tension aux bornes de 220 volts. L'induit étant groupé en étoile, la tension simple est de 127 volts et l'intensité du courant par phase de 525 ampères.

La fréquence à la vitesse de 110,4 tours est de 46 périodes par seconde ce qui correspond à un nombre de pôles inducteurs de 50.

Induit. — La carcasse de l'induit fixe est en deux parties. C'est une caisse constituée



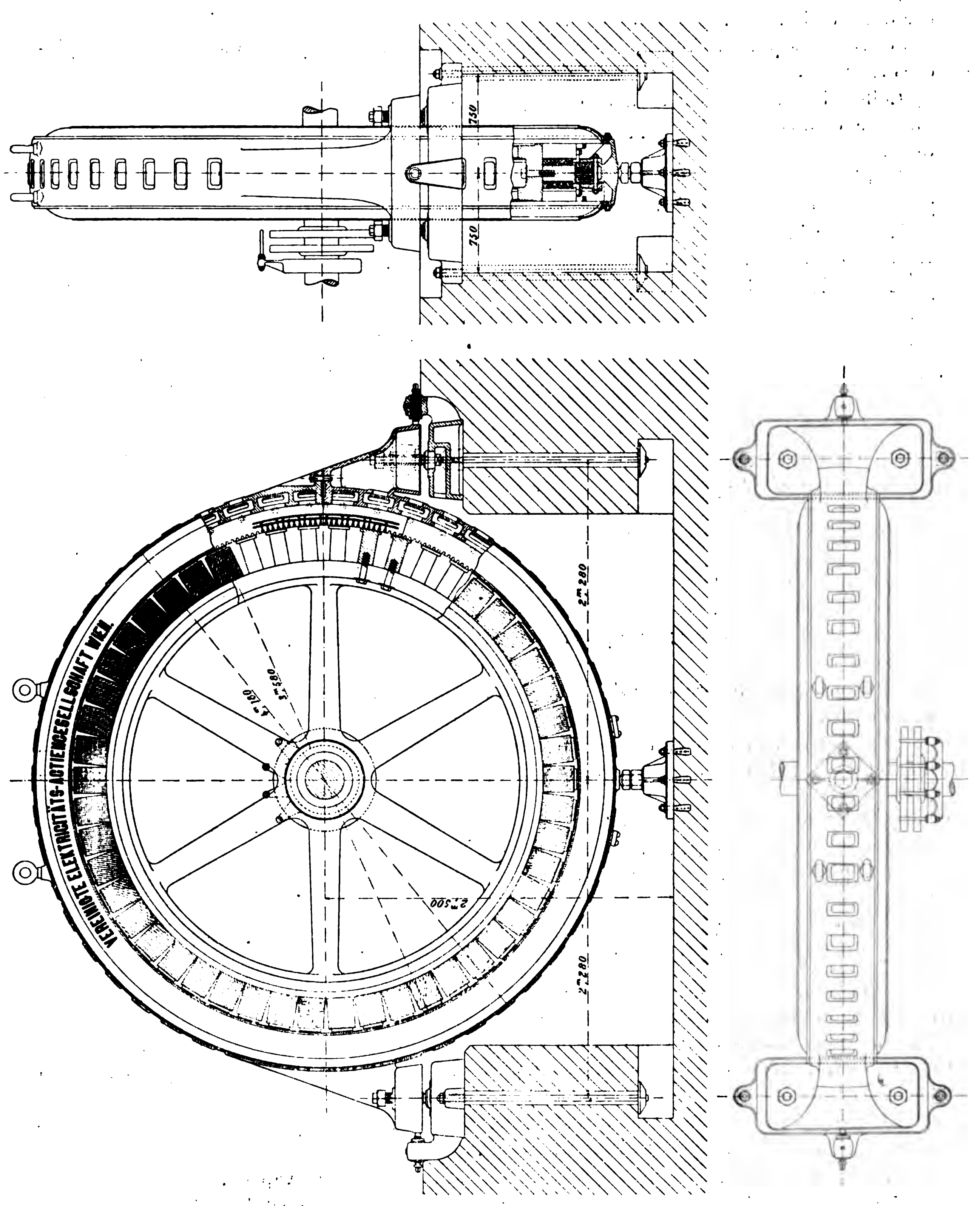


Fig. 3, 4 et 5. — Alternateur de la Vereignite Elektricitæts Actiengesellschaft.

par deux cylindres de même axe réunis entre eux par des nervures laissant entre elles des ouvertures pour la ventilation et supportant un troisième cylindre sur lequel sont placées les tôles.

Celles-ci sont serrées à l'aide de boulons entre un anneau venu de fonte avec la carcasse et des segments rapportés portant un rebord s'engageant sous le support des tôles.

Le diamètre extérieur de la carcasse est de 4,18 m et sa largeur totale, y compris deux protecteurs en fonte rapportés latéralement, de 65 cm.

Le noyau induit est formé d'une seule pile de tôles de 0,5 mm, d'une largeur totale de 15 cm et d'une hauteur radiale de 15 cm.

L'enroulement induit est réparti dans 300 encoches, de forme rectangulaire avec angles

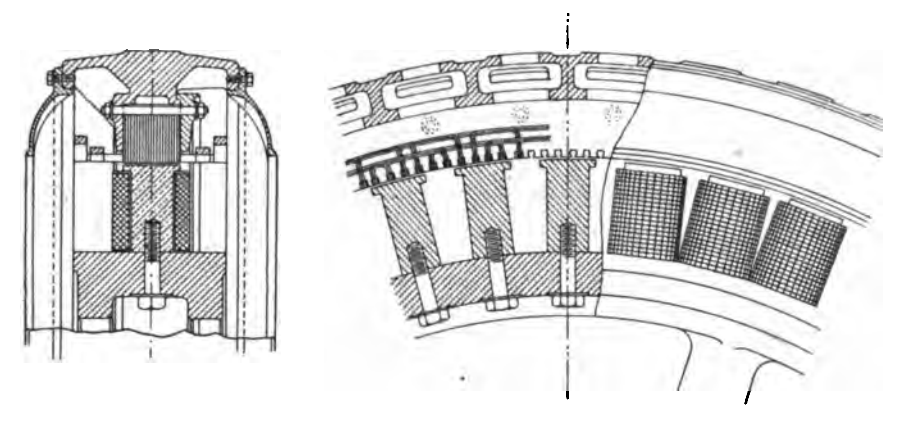


Fig. 6 et 7. — Coupes de l'induit et de l'inducteur.

très arrondis. Les dimensions de ces encoches sont de 1,9 cm en largeur et de 2,4 cm en profondeur.

Chacune des 6 encoches de chaque pôle reçoit une seule barre sectionnée en deux parties isolées à l'aide d'une légère couche de gomme laque pour diminuer les courants de Foucault.

La section totale de chaque barre est 300 mm²; ces barres sont isolées au papier et maintenues en place par des cales en fibre qui ferment les encoches.

Les barres d'une même phase sont réunies toutes en séries par des lames de cuivre.

La résistance de chaque phase de l'enroulement induit est de 0,005 ohm.

Le poids de cuivre total de l'induit est de 450 kg.

Le diamètre extérieur de l'induit est de 3,600 m et l'entrefer de 10 mm.

Le réglage de l'entrefer peut se faire très facilement. A cet effet, la moitié inférieure de l'induit repose par les deux pattes sur les plaques de fondation à l'aide de vis calantes à contre-écrou et les plaques de fondation portent chacune une vis de butée qui permet un déplacement horizontal de l'induit.

La partie inférieure de l'induit est supportée par deux vis placées au fond de la fosse et empêchant ainsi la déformation de l'induit.

Les plaques de fondation sont reliées aux bâtis du moteur à vapeur.

Le poids total de l'induit y compris les plaques de fondation est de 12 500 kg.



Inducteur. — L'inducteur tournant est constitué par un volant en fonte coulé en un seul morceau et de pièces polaires en acier rapportées sur la jante.

La jante du volant a une section en forme d'U à branches très courtes, elle est réunie au moyeu par six bras à section ovale.

Le volant est serré sur l'arbre en acier coulé à l'aide de deux bagues en fer forgé. L'entraînement se fait par deux clavettes à 90°

Le diamètre extérieur de la jante est de 3,12 m et sa largeur de 40,8 cm.

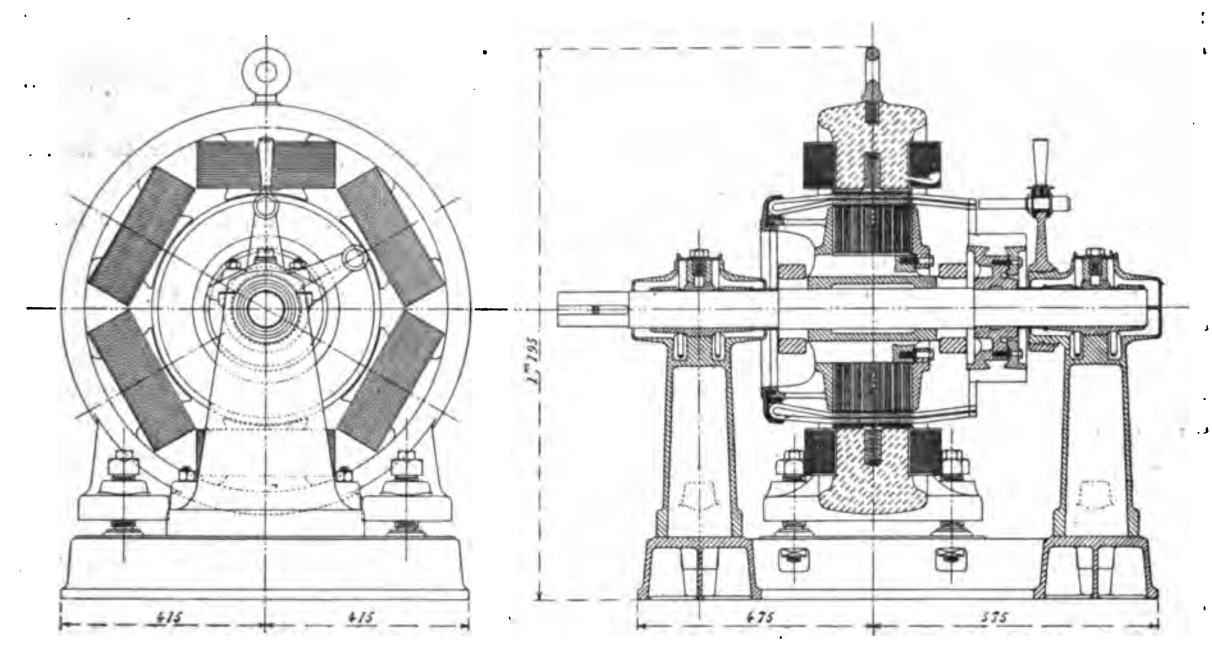


Fig. 8 et 9. — Vue et coupe de l'excitateur.

Les pôles inducteurs ont une section circulaire de 11 cm de diamètre, ils sont terminés par des pièces polaires de forme carrée de 15 cm de côté.

Les pôles sont posés directement sur la jante sans encastrement, ils sont protégés contre le déplacement tangentiel par des goujons.

Leur fixation est faite par une vis traversant complètement la jante et munie d'un dispositif pour empêcher le desserrage en marche.

Les pôles sont ainsi rendus facilement démontables, condition nécessaire pour un remplacement éventuel rapide d'une bobine avariée.

L'enroulement inducteur est constitué par une bande de cuivre nu de 3,5 × 37 mm, enroulée sur champ et sans isolant autre que l'air entre spires. Le nombre de spires de chaque bobine est de 42.

Le poids total du cuivre sur l'inducteur est de 1 200 kg.

Toutes les bobines inductrices sont groupées en série et la résistance du circuit ainsi formé est de 0,165 ohm.

La tension du courant d'excitation nécessaire est au maximum d'environ 30 volts. La puissance absorbée pour l'excitation est d'environ 2,5 p. 100 de la puissance de l'alternateur.

Le courant d'excitation est conduit aux bobines inductrices par des frotteurs et des bagues.



Le diamètre extérieur de l'inducteur est de 3,580 m.

Le poids de l'inducteur est de 10 000 kgs et est suffisant pour assurer un coefficient d'irrégularité de 1/300 au moteur à vapeur.

Excitatrice. — L'excitatrice (fig. 8 et 9) est, comme il a été dit, conduite par une contre-manivelle. C'est une machine à 6 pôles. Sa puissance est de 4 800 watts sous une tension de 30 volts.

La carcasse inductrice et les noyaux polaires sont en acier. Les épanouissements polaires qui retiennent en même temps les bobines inductrices sont en fonte et vissées dans les noyaux.

Le diamètre extérieur de l'inducteur est de 82,5 cm et son diamètre d'alésage de 47,6 cm. La largeur de la carcasse est de 22 cm.

L'entrefer peut être réglé facilement car la carcasse magnétique repose sur le bâti à l'aide de vis calantes à contre-écrous.

L'induit est en tôles minces séparées en huit paquets serrés entre un anneau de fonte venu avec le manchon d'induit et un second anneau rapporté.

L'enroulement est en tambour multipolaire et est groupé en série ; il est réparti dans des rainures fraisées et isolées avec de la micanite.

Le manchon de l'induit porte des projections soutenant une couronne, sur laquelle repose la partie de l'enroulement induit extérieur aux rainures. Ces projections fonctionnent de plus commme un véritable ventilateur servant au refroidissement de l'induit.

Le diamètre extérieur du noyau d'induit est de 47 cm et son diamètre intérieur de 30.

La largeur de l'induit est de 16 cm.

Les paliers sont pourvus de graisseurs à bagues.

Tableau. — Le tableau est monté sur le bâti même de la machine dont le courant est pris à la partie inférieure.

Près du tableau principal se trouve un second tableau qui sert à faire les connexions de trois phases ce qui permet de séparer complètement celles-ci, dispositif très commode pour les essais.

ACCUMULATEURS SYSTÈME TRIBELHORN

La Société anonyme des accumulateurs Tribelhorn présente, Groupe V, classe 24, une exposition d'un certain intérêt, par suite de l'application d'une idée, non pas nouvelle, mais qui n'avait pas encore, à notre connaissance, reçu d'application véritablement industrielle.

Tous les accumulateurs fabriqués jusqu'ici sont constitués de différentes parties bien distinctes : bac, électrodes positives, électrodes négatives, connexions d'élément à élément, que l'on doit assembler d'une certaine manière pour en faire une batterie. Dans les accumulateurs Tribelhorn, toutes ces parties ont été réunies en une seule, et une pièce unique obtenue par coulée sert à la fois d'électrode positive, d'électrode négative, de récipient et de connexion.

Cette idée était déjà celle de Faure (1), lorsqu'en 1880 il essayait de construire des accumulateurs à électrodes parallèles analogues aux piles à auges. C'était davantage encore celle de Gustave Philippart (2) qui en 1883 réalisait des batteries composées d'électrodes

(1) Brevet français, n° 139258 du 20 octobre 1880.

(2) Brevet français, n° 157139, du 21 août 1883, pour Construction nouvelle des accumulateurs électriques, par Gustave Philippart.



doubles de forme conique, positives sur une face et négatives sur l'autre ; ces cônes étaient emboîtés les uns dans les autres et séparés entre eux par des cales isolantes ; chacun d'eux formait cuvette pour l'électrolyte et l'âme massive d'un cône tenait lieu de connexion d'un élément au suivant.

Dans les accumulateurs Tribelhorn basés sur ce même principe, les difficultés de construction ont été aplanies et on peut voir à l'Exposition deux types différents de batteries de ce système. Ces deux types diffèrent par la façon de rapporter la matière active : dans l'un, elle est empâtée directement sur chacun des côtés de la cuvette qui forme électrode

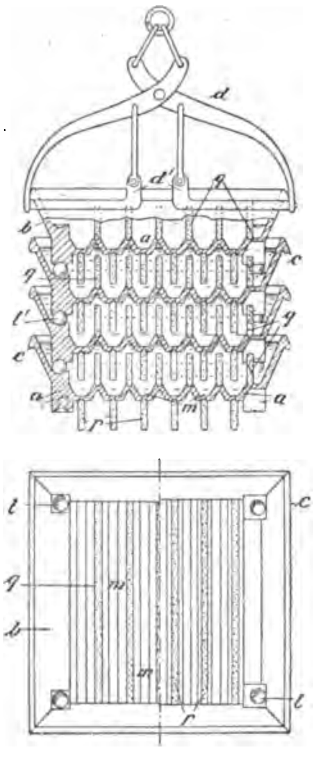
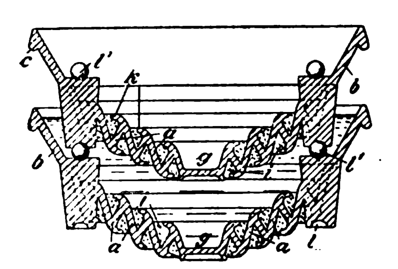


Fig. 1 et 2. — Accumulateurs Tribelhorn, type B.



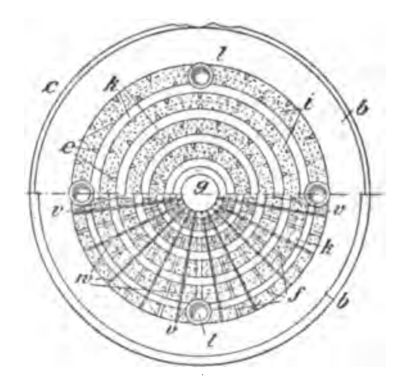


Fig. 3 et 4. — Accumulateurs Tribelhorn, type C.

double ; dans l'autre, on utilise des électrodes en forme de bandes qu'on fixe intérieurement et extérieurement à la cuvette (brevet allemand n° 100 776).

Accumulateurs type B. — Dans ce dernier cas, on peut employer tous les systèmes connus d'électrodes ; chaque électrode double affecte la forme d'une cuvette carrée évasée *b* (fig. 1 et 2) dont le fond *a* n'est pas uni mais présente des sinuosités ; des petites électrodes *q*, *r*, en forme de bandes sont fixées aux parties saillantes de la cuvette. Intérieurement on place les positives *q* et extérieurement, en dessous, les négatives *r*. D'après cette disposition, il se forme sous chaque électrode positive un espace *m* où vient se recueillir la matière qui se détache des plaques ; en outre, au-dessous de chaque électrode négative, se trouve un espace pour le dégagement des gaz.

Les cuvettes sont emboîtées les unes dans les autres, et isolées entre elles par des billes de verre *t'* qui reposent dans des cavités spéciales et assurent à chaque cuvette une position fixe et telle que les électrodes de l'une sont bien parallèles aux électrodes de polarité contraire de la suivante.

Le montage des grosses pièces est effectué mécaniquement à l'aide de pinces élévatrices spéciales *d*. Le nombre de cuvettes à superposer dépend du voltage à obtenir ; dans une colonne, on devra évidemment compter autant d'éléments en tension qu'il y a de cuvettes, moins une. Généralement, le montage d'une batterie de 110 volts se fait en deux colonnes réunies en tension ; les prises de courant se font aux cuvettes supérieure et inférieure.

Accumulateurs, types A, C, D, E. — Dans ces différents types, les parois mêmes des cuvettes sont garnies de matière active. La forme est tronconique et on a ménagé au fond un espace *g* où se rassemblent les boues de peroxyde.

Différentes constructions sont employées pour retenir la matière active. La plus usitée est

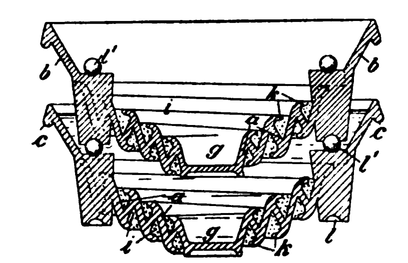


Fig. 5. — Accumulateurs Tribelhorn, type D.

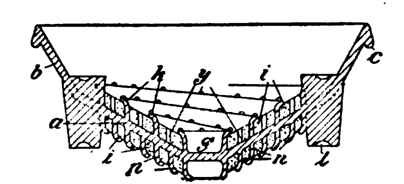


Fig. 6. — Accumulateurs Tribelhorn, type A.

celle des types C (voir fig. 3 et 4, élévation et plan) et D (fig. 5). Ici les parois de la cuvette ont une section en forme de zigzag de telle sorte que vues en plan, elles présentent une série de canaux concentriques (fig. 4) ou en spirale dans lesquels on introduit la matière active. Les arêtes intérieures et extérieures de ces canaux sont recourbées de façon à mieux enchâsser la matière ; du côté des positives on fait la courbure moins prononcée pour permettre la libre dilatation du peroxyde et éviter les déformations.

Le type A (fig. 6) est identique aux précédents ; seulement la paroi possède une âme unie *a* qui est munie de nervures concentriques qui forment les canaux qu'on empâte.

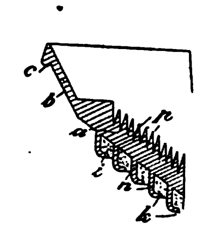


Fig. 7. — Accumulateurs Tribelhorn, type à décharge rapide.

Pour les décharges rapides, enfin, le type représenté en figure 7 a été spécialement construit : le côté négatif est semblable à celui du type précédent ; quant au côté positif il est formé d'un grand nombre de petites nervures fines présentant une grande surface et qu'on peut former par formation Planté.

D'autres types spéciaux ont été imaginés, notamment pour les batteries transportables. La figure 8 représente de tels éléments actuellement employés sur des navires de guerre ; elle montre les précautions spéciales qu'on a prises pour assurer l'étanchéité, chaque cuvette possédant dans ses parois un canal *x* pour le remplissage et le dégagement des gaz.

Toutes ces différentes formes de cuvettes sont obtenues par coulée ou par compression (brevet allemand n° 105 568).

Les accumulateurs Tribelhorn possèdent sur les accumulateurs ordinaires les avantages suivants :

La suppression des récipients (bois plombé, verre, ébonite, etc.), ainsi que des connexions diminue d'une façon très importante le prix d'achat des batteries, des petites principalement dans lesquelles le prix des récipients entre pour une forte proportion dans le

prix total. Elle diminue également les frais d'entretien dus au bris des récipients ou à leur défaut d'étanchéité.

La simplicité de montage et de démontage est également incontestable de même que le temps qu'ils nécessitent.

D'après le constructeur, en effet, il suffirait de 2 à 3 heures pour monter et démonter une batterie de 100 volts, 120 ampères-heure, y compris le remplissage et la jonction des câbles.

Le montage s'effectuant en colonne, on obtient de ce fait une économie considérable d'emplacement, économie qui, d'après le constructeur, peut atteindre 50 p. 100, 75 p. 100 et même davantage. Grâce à la faible surface occupée, l'isolement de la batterie avec la terre peut être facilement assuré.

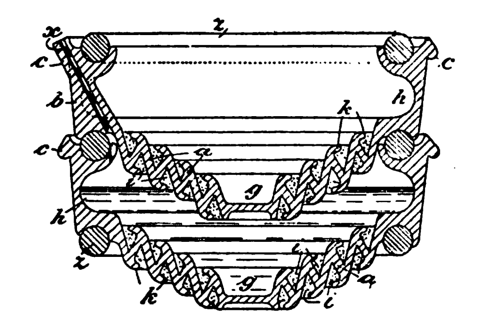


Fig. 8. — Accumulateurs Tribelhorn, type transportable.

Ces différents avantages ne vont pas sans quelques inconvénients qui sont les suivants :

Le poids total des batteries est plus élevé que celui des autres batteries stationnaires par suite de la construction massive des cuvettes en plomb ; d'après le constructeur, cependant, cet excédent ne dépasserait pas 10 à 20 p. 100, même pour les grandes batteries.

Au point de vue de l'entretien, il est plus difficile de surveiller ici chaque élément ainsi que d'examiner et de renouveler l'électrolyte.

Enfin les difficultés de construction, lorsqu'il s'agit de faire de grandes cuvettes, limitent aux petites et aux moyennes batteries l'emploi des éléments de ce système ; le plus gros type construit serait, paraît-il, celui de 800 ampères-heure.

Dans le tableau suivant nous avons réuni les principales constantes relatives au plus petit et au plus gros élément du type C décrit ci-dessus et qui est le plus employé :

Type d'élément		C_{00}	C_5
Diamètre des cônes, en mm		125	800
Dimensions d'une batterie de 110 volts, montée en 2 colonnes	hauteur en mm.	600	1600
	largeur »	180	1000
	longueur »	500	2600
Poids total par élément, en kg		1,5	80
Prix d'un élément en francs, montage compris		2,80	70
Capacités aux différents régimes.	10 heures	4,5 amp.-h. à 0,45 amp.	270 amp.-h. à 27 amp.
	6 »	4 » 0,75 »	235 » 39 »
	3 »	3 » 1 »	200 » 67 »

Le *Centralblatt für Accumulatoren und Elementenkunde* (1) auquel nous empruntons les figures ci-dessus donne pour les capacités spécifiques rapportées à l'unité de surface les valeurs suivantes :

Capacité spécifique.	Intensité spécifique.
8,4 amp.-h. par dm² de surface positive	0,7 amp.-h. par dm² de surface positive
7,3 » »	1,05 » »
5,6 » »	1,09 » »
4,5 » »	1,50 » »
3,5 » »	3,50 » »
2,1 » »	5,90 » »

relatives à un élément petit modèle de 2,85 dm² de surface positive, pesant 5,3 kg.

J. Reyval.

(1) Tome I, p. 293, 1er septembre 1900.

LA POLARISATION ROTATOIRE MAGNÉTIQUE

ET L'AXIOME DE CLAUSIUS

Réponse a une note de M. Brillouin

M. Brillouin a publié il y a deux ans dans ce journal (1) une note (dont j'ai eu connaissance il y a seulement quelques jours), dans laquelle il arrive à cette conclusion, que le résultat énoncé par moi dans un mémoire antérieur (2) « que la rotation magnétique du plan de la polarisation est une exception du théorème de Clausins, » n'est pas juste. Néanmoins il accepte le théorème de Helmholtz, à savoir : que la rotation magnétique est un cas d'exception de la loi de la réciprocité de la marche des rayons.

Or il est, selon moi, impossible de séparer les deux théorèmes. Clausius a en effet, démontré lui-même, que son théorème est fondé pour la radiation sur le principe de la réciprocité du chemin des rayons. Par conséquent chaque exception à cette loi enferme une exception à la loi de Clausius.

M. Brillouin donne bien une explication mathématique, dont le résultat montre que l'arrangement imaginé par moi pour mieux concevoir l'exception dans le cas de la rotation magnétique ne conduit qu'au résultat exigé par le théorème de Clausius. Mais si l'on examine les causes de la discordance entre mon résultat et celui de M. Brillouin, on trouve que M. Brillouin n'a pas étudié assez profondément la marche des rayons, qui prennent des chemins différents.

Dans mon mémoire, il est vrai, je n'ai pas donné compte du chemin des rayons en détail parce qu'il me semblait facile de compléter l'arrangement idéal à la manière de Kirchhoff.

Je veux donner ici une explication aussi simple que possible pour rendre claires les circonstances, qui causent l'exception à la loi de Clausius.

Soient d'abord ds_1 et ds_2 (fig. 1) deux éléments égaux de la surface d'un carré noir qui s'envoient réciproquement des rayons. Si l'on veut calculer le rayonnement envoyé par ds_1 à ds_2, il faut construire un cône sur tous les points de l'élément ds_1. La radiation est donc

$$e ds_1 \frac{ds_2}{r^2},$$

où e est une constante et r la distance des deux éléments.

Pour trouver le rayonnement marchant de ds_2 à ds_1, on construit de même les cônes sur l'élément ds_2 et l'on a

$$e ds_2 \frac{ds_1}{r^2}.$$

Ces deux expressions sont égales et par conséquent les deux éléments reçoivent la même radiation. Cette considération est correcte quel que soit le chemin des rayons entre les deux éléments pour que les rayons prennent le même chemin en direction directe ou inverse.

Mais quand le plan de la polarisation est tourné par des forces magnétiques les deux

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XV, p. 265, 14 mai 1898.

(2) *Wiedemann's Annalen*, t. LII, p. 132-165; 1894.

chemins sont différents et alors les cônes construits sur les deux éléments ne sont plus identiques.

Considérons en effet les rayons venant de ds_1 (fig. 2) et traversant le diaphragme D_1. Soit P_1 un prisme de Nicol polarisant ces rayons. La moitié de la lumière qui est défléchie par réflexion totale, est supposée renvoyée par un miroir dans une direction inverse et revenir par le même chemin à ds_1. Par un dispositif analogue la moitié des rayons de ds_2, polarisés par P_2, sont renvoyés par un miroir à ds_2. Ces rayons sont supprimés dans la figure pour ne pas la rendre trop compliquée. L'autre moitié des rayons, qui traversent le nicol P_1 traver-

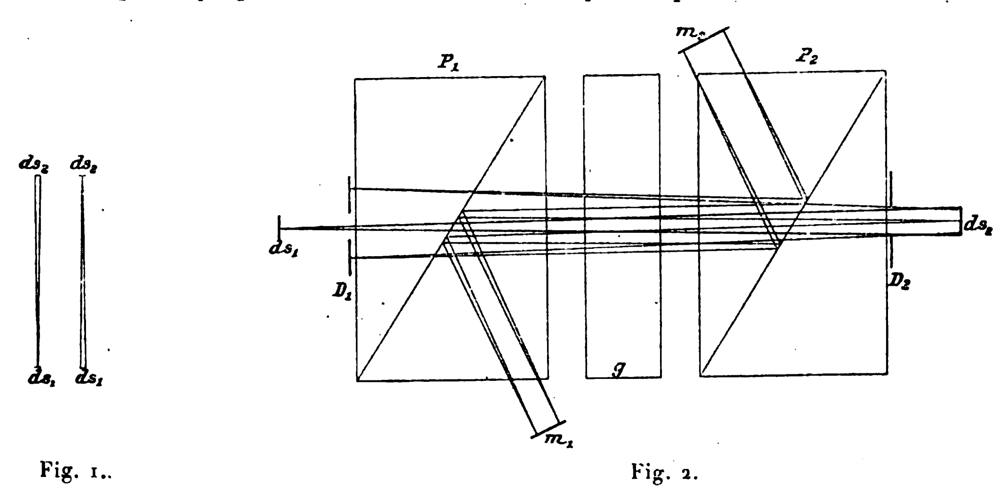


Fig. 1. Fig. 2.

sent ensuite la plaque g, ou le plan de la polarisation est tourné par des forces magnétiques d'un angle de 45°. Le second prisme P_2 est orienté de telle sorte, que les rayons le traversent complètement.

Les rayons émis par ds_2, et qui traversent le nicol P_2, se rendent, comme l'a expliqué M. Brillouin par un autre chemin à ds_2. Ils sont réfléchis par le plan intérieur du nicol P_1, réfléchis consécutivement par le miroir plan m_1, par la réflexion totale en P_1, en P_2, par le miroir m_2, ensuite une seconde fois en P_2 et ne traversent que maintenant le nicol P_2. Ce chemin étant plus long que celui pris par les rayons de ds_1, la surface sphérique coupée par le cône est devenue plus grande. Par conséquent, de ces rayons ne tombe sur ds_1 qu'une portion donnée par le rapport des surfaces sphériques coupées par les deux cônes construits sur ds_2 et ds_1. Tout le reste est réfléchi par D_1 et, tombe, après avoir traversé P_1, g et P_2, complètement sur ds_2.

Le rapport des deux surfaces sphériques dépendant seulement de celui des deux chemins, que l'on peut rendre aussi grand qu'on veut, il n'y a pas de limite pour la portion des rayons revenant à ds_2.

Ainsi j'ai le droit de conclure qu'un arrangement idéal ferait frapper l'élément ds_2 par trois fois la radiation qui arrive à ds_1.

C'est le résultat énoncé dans mon mémoire, et que je suis obligé de soutenir avec toutes ses conséquences.

WILLY WIEN.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION

Contributions au calcul des Dynamos et des Moteurs, par **F. Niethammer.** *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXI, p. 528 et 549, 28 juin et 5 juillet 1900.

La théorie des commutatrices a été exposée par divers auteurs, particulièrement au point de vue de l'échauffement, de la tension, de la réaction d'induit du côté du courant continu. Mais la réaction d'induit est aussi importante à étudier pour les commutatrices marchant comme moteurs synchrones, car elle permet de déterminer la charge maxima. Scinmetz a prouvé que la réaction d'induit du côté en continu était égale à celle en alternatif pour cos $\varphi = 1$. Il en résulterait que, en charge il n'y aurait ni affaiblissement du champ ni ampères-tours antagonistes. Pour cos $\varphi = 0$, le courant continu est nul et les ampères-tours de l'armature agissent comme antagonistes, pour les valeurs de cos φ comprises entre 0 et 1, on voit de même que les ampères-tours transversaux sont nuls et qu'il ne reste que les ampères-tours antagonistes : le courant watté produit un effet à peu près égal au courant continu, et ces deux courants produisent des ampères-tours opposés les uns aux autres et sensiblement perpendiculaires à ceux du champ. Les essais montrent d'ailleurs qu'il n'y a pas de diminution notable du champ sur la périphérie de l'induit. Mais les théories de la réaction d'induit sont très confuses et ne concordent pas toujours avec l'expérience. En fait, même pour cos $\varphi = 1$, une commutatrice ne supporte pas une surchage indéfinie : elle se décroche pour une charge qui est égale à deux ou quatre fois la charge de décrochage d'un moteur synchrone marchant avec la même excitation.

D'après la théorie de Steinmetz et de Kapp, il n'y a qu'une valeur pour la perte dans le cuivre d'une commutatrice triphasée : cette valeur a lieu lorsqu'on emploie la commutatrice comme génératrice continue pour un courant I_g égal à $\frac{1}{1,34}$ ou $\frac{1}{1,44}$ du courant normal. Soit I_w l'intensité du courant triphasé et $1,4\ I_g$ le courant continu. Si I_g est le courant continu utilisé on a

$$(I_w - 1,4 I_g)^2 = I_g^2$$
$$I_w = 2,4 I_g.$$

On peut donc se représenter le fonctionnement de la commutatrice au point de vue de l'échauffement et de la réaction d'induit comme si un courant $2,4\ I_g$ y entrait et qu'un courant $1,4\ I_g$ en sortait, les deux courants se neutralisant de façon à produire I_g.

Comme le nombre de bornes est le même pour les deux courants, la réaction d'induit est proportionnelle à $2,4\ I_g$ pour le côté triphasé et à $1,4\ I_g$ pour le côté continu ; leur direction relative varie avec cos φ. Les deux valeurs sont entre elles comme 1 est à 0,6. Pour cos $\varphi = 1$, la réaction résultante de la commutatrice n'est que les 40 p. 100 de celle du moteur synchrome. Ce chiffre de 40 p. 100 peut ne pas être absolument exact et peut se calculer d'une façon plus précise en prenant la différence des

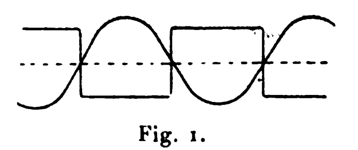


Fig. 1.

courants continus et alternatifs (fig. 1 et 2). C'est cette différence qui donne les ampères-tours résultants.

Fig. 2.

La valeur de la puissance de décrochage se détermine d'après les figures 3 et 4. La première se rapporte au moteur synchrome, la seconde à la commutatrice. Dans la figure 3, K est le flux résultant dans l'armature, E la force contre-électromotrice, E_k la tension aux bornes, J le courant, φ le décalage. Au courant J correspond un nombre d'ampères-tours $A W_a$, pour produire le flux K il faut les ampères-tours $A W_r$. Ces deux forces magnétisantes se composent suivant $A W_f$ qui est produit par les inducteurs. On a négligé la perte ohmique et compris la dispersion dans $A W_a$. Dans la figure 4, K est le flux résultant, E la force contre-électromotrice et en même temps la tension continue réduite, E_k la tension triphasée, $A W_g$ les ampè-

res-tours continus de l'induit dans la direction de E, AW_w les ampères-tours dans la direction

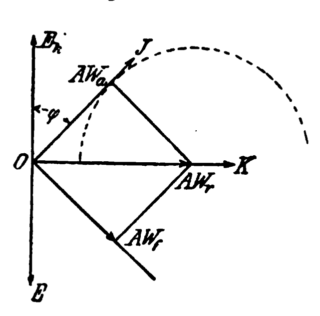


Fig. 3.

de J. AW_s est la projection de AW_w sur E_k, et AW_g=0,60. AW_s, AW_g et AW_w se composent

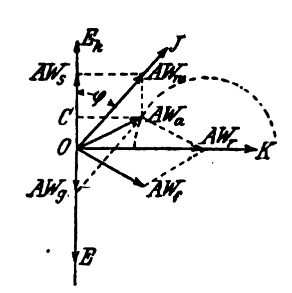


Fig. 4.

suivant AW_a. De AW_r et AW_a on déduit AW_f.

On a fait une expérience dans le cas suivant.

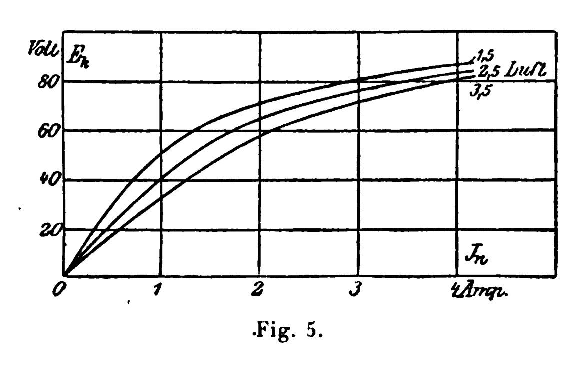


Fig. 5.

Les caractéristiques de la figure 5 correspondent à trois entrefers, respectivement 1,5, 2,5, et 3,5 mm. $AW_f=490J_n$; $E_k=76V$, $AW_r=1960$, 2350, 2750 pour les trois entrefers. Pour un courant d'excitation connu, $J_n=1$, $AW_f=790$, on peut déduire de la figure 3 tous les AW_a possibles et les angles φ correspondants. Le sommet AW_a parcourt le cercle décrit de AW_r comme centre avec AW_f comme rayon. Si J_l est le courant de ligne, on a

$$AW_a = c\,\frac{J_l\,Z\sqrt{2}}{\sqrt{3}.3.2p} = \text{environ } 7{,}5\ I_l$$

Les essais ont donné $c=1$, $z=72$, $2p=4$. La puissance utilisée est

$$A = \sqrt{3}.\ E_k\,J_l$$

de sorte que l'on peut dresser le tableau suivant pour $J_n=1$ et un entrefer de 1,5 mm.

φ	AW_a	cos φ	J_l Ampères	A Kilowatts
90	1190	0	150	0
79	1260	0,19	168	4,2
69	1560	0,36	209	9,8
69	2090	0,36	279	13
79	2570	0,19	243	8,6
90	2740	0	365	0

Le maximum est 13 kilowatts pour cos φ=0,36 (courant en retard). Le moteur synchrone ne peut pas utiliser plus de puissance à cette excitation et avec cet entrefer.

On peut procéder de même pour la commutatrice en se basant sur la figure 4. $OAW_2 = 1960$, de AW_s comme centre on décrit un cercle avec $AW_f=790$ comme rayon. On en déduit tous les AW_a possibles. Par un AW_a déterminé on mène une parallèle AW_aC à l'axe des abcisses :

$$OAW_a = \frac{OC}{0{,}40} = \frac{AW_w\cos\varphi}{AW_w\cos\varphi - AW_g}\,OC$$

en supposant

$$\frac{AW_w\cos\varphi}{AW_g} = \frac{1}{0{,}60}$$

Une parallèle menée par AW_s à l'axe des abcisses et une autre menée par AW_a à l'axe des ordonnées donnent le point AW_w. $OAW_w = AW_w$ et $J_l=\frac{AW_w}{7{,}5}$. AW_g est représenté par la ligne $AW_w\,AW_a$. Un tableau analogue au précédent nous montre que le maximum est de 40 KW pour cos φ = 0,75 (courant en retard). Si l'on avait supposé.

$$\frac{AW_w\cos\varphi}{AW_g} = \frac{1}{0{,}9}$$

on aurait trouvé 120 KW pour cos φ = 0,96.

On a fait le même calcul pour $I_n=3$ et 5 et pour des entrefers de 2,5 et 3,5 mm, ce qui a

donné les maxima suivants :

I_n	Moteur synchrone KW	Commutatrice $AW_w : \frac{AW_g}{\cos\varphi} = 1 : 0{,}9$	Commutatrice $AW_w : \frac{AW_g}{\cos\varphi} = 1 : 0{,}60$
1	13	43	120
3	40	120	400
5	80	260	770

Quand l'entrefer varie, les maxima sont à peu près les mêmes, mais ils se produisent pour d'autres cos φ. Cos φ est plus grand pour de petits entrefers que pour les grands, ce qui montre que, contrairement à ce que l'on admet ordinairement, il ne faut pas donner de trop grands entrefers aux moteurs synchrones.

2. La réaction de l'induit aussi bien pour les dynamos à courant continu que pour les alternateurs, peut se calculer d'une façon simple dans deux cas extrêmes : ou bien lorsque les ampères-tours de l'induit sont perpendiculaires à ceux du champ, ou bien lorsqu'ils sont situés dans leur prolongement. Dans le premier cas, en continu les balais sont au plan neutre et en alternatif le décalage est nul. Dans le second cas, les balais sont dans un plan perpendiculaire au plan neutre, ou bien le décalage est de 90°. Ce dernier cas est facile à traiter car les deux forces magnétisantes s'ajoutent algébriquement. Le premier cas est plus compliqué.

Soit une machine à deux pôles représentée

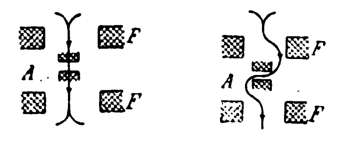


Fig. 6 et 7.

schématiquement par la figure 6. F, F sont les bobines inductrices, A, une bobine représentant l'induit. Tant que l'induit ne débite pas, les lignes de force vont directement de F à F. Mais si l'induit débite, les lignes de force suivent le trajet sinueux de la figure 7. Le trajet des lignes de force devient plus long, la réluctance augmente. Mais en même temps, le nombre total des ampères-tours augmente, car ce sont précisément les ampères-tours additionnels de l'induit qui dévient les lignes de force. Dans un induit à anneau tout se passe d'une façon analogue (fig. 8). Si les lignes de force pénétraient toutes également dans l'induit, elles rencontreraient dans l'autre moitié de l'induit d'abord une série d'ampères-tours antagonistes (courbes 1), puis un nombre égal d'ampères-tours de même sens que ceux des inducteurs ; dans l'autre moitié de

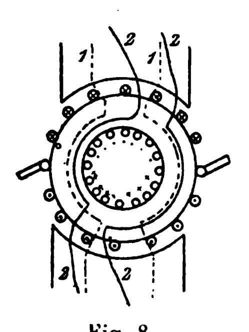


Fig. 8.

l'induit ce serait l'inverse (on suppose les balais au plan neutre). Mais en réalité, il n'en est pas ainsi : les lignes de force entrent dans l'induit de telle sorte (courbes 2) qu'elles traversent un grand nombre d'ampères-tours de même sens que ceux du champ, elles quittent l'induit de telle sorte qu'elles franchissent aussi peu que possible d'ampères-tours antagonistes. A ce parcours prolongé des lignes de force correspond un nombre d'ampères-tours plus grand qu'à vide et aussi plus grand que la somme des ampères-tours des inducteurs et des ampères-tours supplémentaires.

On peut déduire des considérations précédentes une méthode approchée pour calculer la réaction de l'induit : la fraction de ligne de force déviée dans le pôle peut être considérée comme l'hypoténuse d'un triangle rectangle ayant pour côtés de l'angle droit la ligne de force primitive et la déviation. Cette dernière dépend du nombre d'ampères-tours par le pôle de l'induit. On prendra donc les ampères-tours nécessaires à vaincre la réaction, AW_2, proportionnels à l'hypoténuse d'un triangle rectangle ayant pour côtés les ampères-tours AW_f à vide et $c\ AW_a$, où AW_w représente le nombre d'ampères-tours de l'induit par pôle, et c une constante. On établit expérimentalement que c varie entre 0,9 et 1,1 (pour les moteurs à champ tournant c atteint la valeur 1,3). Ce procédé très usité en alternatif est donc également applicable au courant continu.

Entre la position des balais au plan neutre et la position perpendiculaire, la réaction de l'in-

duit se détermine comme résultante de la déviation du champ et des ampères-tours antagonistes. Il en est de même en alternatif lorsque $\cos \varphi$ varie de 1 à 0. Lorsque le décalage des balais ou du courant augmente, pour une intensité donnée, la déviation diminue, les ampères-tours antagonistes augmentent. Cette augmentation et cette diminution suivent une loi sinusoïdale : pour un décalage φ on construirait l'hypoténuse d'un triangle rectangle dont les côtés sont AW_f et $c\,AW_a \cos \varphi$; on y ajouterait $AW_a \sin \varphi$ correspondant aux ampères-tours antagonistes et l'on obtiendrait les ampères-tours nécessaires pour vaincre la reaction de l'induit. Si $c = 1$, les ampères-tours résultants forment le 3e côté d'un triangle dont les deux autres côtés AW_f et AW_a comprennent un angle $90° + \varphi$.

3. La détermination exacte de la chute de tension des machines à champ tournant lorsqu'on tient compte des dispersions primaire et secondaire, ne peut se faire que d'après le diagramme de la figure 9. Soit OK_a le champ de

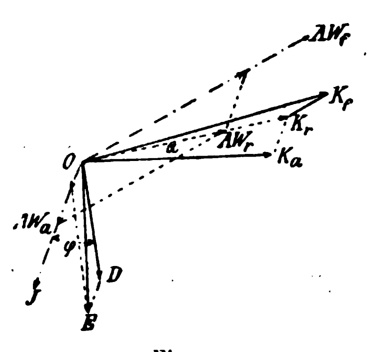


Fig. 9.

l'induit, OE la force électro motrice, J l'intensité, AW_a les ampères-tours de l'induit, OD la tension aux bornes, $K_a K_r$ le flux de dispersion de l'induit que l'on peut calculer, d'après la forme des encoches, comme quotient de AW_a et de la réluctance du circuit de dispersion; $K_a K_r$ est parallèle à AW_a. OK_r est le flux qui traverse l'entrefer, et sur la même direction se trouvent les ampères-tours résultants AW_r qui se déduisent de l'ensemble du circuit magnétique de la machine. Plus exactement, les ampères-tours de l'entrefer sont suivant OK_r, ceux de l'induit suivant K_a et ceux des inducteurs suivant OK_f et c'est leur résultante qui constitue AW_r.) $K_r K_f$ est le flux de dispersion des inducteurs parallèle à OAW_f. Ce diagramme résout toutes les questions d'une manière très satisfaisante si on connaît la caractéristique à vide. D'une façon approchée, il suffit de se servir seulement du triangle $AW_a BO$ dans lequel $OB = AW_r$, $BO = AW_f$, $OAW_a = AW_a$. On tient compte de la dispersion de l'induit par un agrandissement de AW_a. La manière la plus exacte de tenir compte de la dispersion des

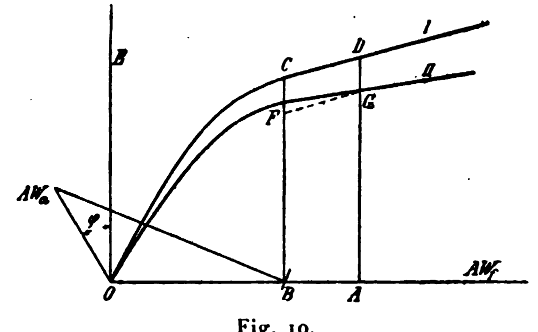


Fig. 10.

inducteurs est la suivante : on calcule une caractéristique I sans tenir compte de la dispersion, et une caractérisque II en tenant compte de la dispersion primaire. Pour une intensité déterminée I et un décalage φ on a par pôle (Z étant le nombre total des conducteurs).

$$AW_a = C.1,5\ \frac{J.Z.}{3.4.p}\ \sqrt{2}$$

c'est compris entre 0,9 et 1,3. L'angle E. $OAW_a = \varphi$.

Si le nombre d'ampères-tours inducteurs est $OA = AW_f$, on décrit de AW_a comme centre avec OA comme rayon un cercle qui coupe l'axe

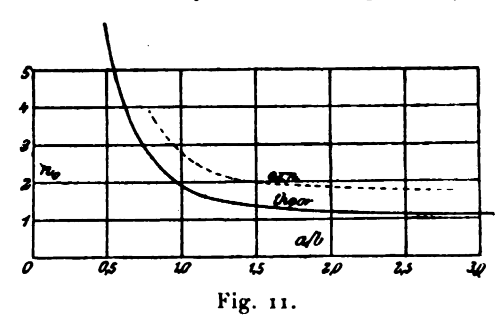


Fig. 11.

des abscisses en B. L'ordonnée B coupe la courbe I en C, l'ordonnée A coupe la courbe I en D et la courbe II en G. On mène GF parallèle à CD. BF est la tension aux bornes cherchée, en négligeant la chute ohmique dont il est d'ailleurs facile de tenir compte.

4. *Commutation dans les dynamos à courant continu.* — Toutes les théories émises sur la commutation conduisent aux trois résultats suivants :

1° L'expression

$$\frac{W_u T}{L'} \qquad (1)$$

doit être plus grande que l'unité ; W_u représente la résistance de contact des balais, T la durée de la commutation, L' le coefficient de self-induction de la spire en court-circuit.

2° Le champ minimum des cornes polaires doit avoir une certaine grandeur et ne jamais être nul.

3° Le flux de self-induction ne doit pas être trop grand, il peut être d'autant plus grand que le champ minimum est plus grand.

Soit une spire dont les deux bornes sont fixées dans des encoches à 90° l'une de l'autre.

Le coefficient de self-induction de cette spire est

$$L' = cp\,\frac{Z^2}{K^2}\left[\frac{2l}{\pi}\log_e\left(1+\frac{\pi b_z}{b_n}\right)+\frac{z_l}{b_n}\right] = cp\,\frac{Z^2}{K^2}(A+D).$$

où Z est le nombre total des barres, $2p$ le nombre des pôles, K le nombre des lames, l la longueur de l'induit. Dans cette formule on néglige la réluctance des dents. Si on en tient compte on écrira

$$L = 10^8 p\,\frac{Z^2}{K^2}\left[\frac{A}{1+\frac{4zA}{lb_z\mu_z}}+\frac{D}{1+\frac{1{,}5zD}{lb\mu_z}}\right] = 10^8 p\,\frac{z^2}{k^2}(A'+D') \qquad (2)$$

La perméabilité μ_z ne peut se déduire des caractéristiques usuelles, car l'induction dans les dents monte avec la déviation du champ. Il suffit de consulter le tableau suivant :

B_z Induction dans les dents (en kilogauss)	μ_z
16	150
17	100
18	80
19	60
20	40
21	30
22	20
23	10
24	5
25	2

La durée de la commutation est de

$$T = \frac{d_b\,60}{D_k\,\pi\,u} \qquad (3)$$

où d_b est la largeur des balais, D_k le diamètre du collecteur, u le nombre de tours par minute. Tirons L de l'équation (2), T de l'équation (3) et portons dans (1) on peut écrire

$$\frac{W_u T}{L} > c_1 \qquad (4)$$

La valeur C_1 se déterminera d'après une série de bonnes machines. Pour les balais métalliques C_1 est au minimum égal à 0,1, pour les balais en charbon égal à 2.

Pour répondre à la seconde condition on a la condition bien connue

$$\frac{1{,}6\,B_l\,\delta}{b\,AS} > C_2 \qquad (5)$$

B_l est l'induction *moyenne* de l'entrefer, d la longueur de l'entrefer, b l'arc polaire, AS les ampères-tours par centimètre de circonférence de l'induit. Pour les bonnes machines, C est environ égal à 2, mais il y a aussi des cas où des valeurs inférieures à 1 ont donné de bons résultats.

L'expression LJ est proportionnelle au champ de self-induction, en désignant par J l'intensité par circuit de l'induit. Il faut donc que l'on ait

$$LJ < C'_3 \qquad (6)$$

ou bien

$$10^8\,p\,\frac{Z^2}{K^2}(A'+D')J < C'_3$$

ce que l'on peut écrire

$$K > c_3 Z \sqrt{J}$$

Cette relation est très commode en pratique. C_3 doit être plus grand que 0,03 ou 0,04. C'_3 doit être inférieur à $10.\ 10^{-4}$

Les trois inégalités (4) (5) (6) donnent une indication très exacte sur la valeur d'une machine au point de vue de la commutation et elles peuvent servir de base au calcul, si on a déterminé les coefficients. C_1 C_2 C_3 par expérience.

E.-B

Sur la question de la réduction par la lumière du peroxyde des plaques positives d'accumulateur, par **Franz Peters**. *Centralblatt für Accumulatoren- und Elementenkunde*, t. I, p. 279, 15 août 1900.

Dans une étude sur les actions locales de l'accumulateur au plomb, U. Schoop [1] a avancé l'affirmation que le peroxyde était décomposé directement par la lumière solaire.

Comme preuve de cette assertion, il cite l'expérience suivante qu'il a faite : une plaque de plomb doux était légèrement peroxydée, puis, après séchage, divisée en trois parties : la première était soumise directement aux rayons solaires ; la deuxième, à la lumière du jour ; et la troisième était conservée dans un endroit sombre.

Après quelques heures, il observait que la teinte noire primitive du peroxyde s'était conservée sur la troisième partie mais qu'elle s'était changée en une teinte rougeâtre sur les deux parties exposées à la lumière, particulièrement celle qui recevait les rayons solaires.

Franz Peters fait remarquer, avec raison d'ailleurs, que cette expérience n'est pas concluante et que la variation de couleur n'implique pas forcément une décomposition chimique du peroxyde. Afin de vérifier expérimentalement le fait, Franz Peters prépare des plaques peroxydées, les lave à l'eau courante puis les sèche dans un endroit sombre. Ayant divisé en 6 parties les plaques ainsi préparées, il expose les unes (*b*) 19 à 23 jours à la lumière du jour, dont 35 à 40 heures au soleil ; tandis que les autres (*a*) restent dans un endroit sombre.

Après expiration de ce délai, il dose alors par une méthode spéciale la teneur en peroxyde de toutes ces plaques, et il trouve

Plaque 1*a*	10,26 gr. PbO^2		Plaque 1*b*	9,57 gr. PbO^2	
» 2*a*	4,04	»	» 2*b*	4,30	»
» 3*a*	20,88	»	» 3*b*	21,14	»

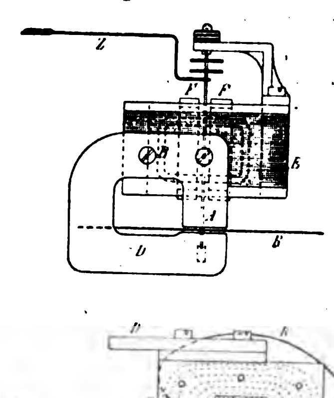
Ces chiffres montrent que les différences entre les plaques soumises à la lumière et les autres sont très faibles et ne peuvent être imputées à la réduction du peroxyde par la lumière puisque les plaques 2*b* et 3*b* ont encore plus de peroxyde que 2*a* et 3*a*. Ces faibles différences doivent être imputées à une répartition inégale du peroxyde sur une même plaque, soit par l'action du courant, soit par le lavage.

Quant au changement de teinte que Franz Peters observe également, quoique à un moindre degré que Schoop, il l'attribue à un phénomène purement physique ou à un changement d'état moléculaire du peroxyde. L. J.

MESURES

Instruments de mesure pour courants alternatifs de l'Allgemeine Elektricitaets Gesellschaft, par **G. Benischke**. Communication faite à l'Elektrotechnischer Verein le 23 janvier 1900, et publiée dans *l'Elektrotechnische Zeitchrift* du 17 mai, t. XXI, p. 396-403.

Tandis que les instruments de mesure pour courant continu ne laissent presque plus rien à désirer, il n'en est pas de même pour le courant alternatif. Ces instruments doivent non seulement remplir les mêmes conditions de sensibilité, de précision et d'amortissement que pour le courant continu, mais encore leurs indications doivent être indépendantes de la forme de la courbe et de la fréquence.



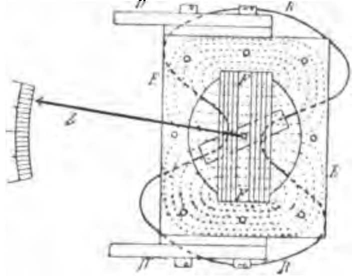


Fig. 1 et 2. — Instruments de mesure de l'A. E. G.

Les instruments présentés par M. Benischke à la société remplissent ces conditions dans la mesure où le courant alternatif le permet. Ce sont des instruments dynamométriques à amor-

(1) *Elektrotechn. Neuigkeits-Anz. und Maschinentechn. Rundschau*, 1900, t. III, p. 45 et *Centralblatt für Accumulatoren- und Elementenkunde*, t. I, p. 209, 1er juin 1900.

tissement magnétique On sait qu'il est presque impossible d'employer cet amortissement pour les wattmètres lorsqu'on veut les étalonner en courant continu; d'abord l'aimant amortisseur altère le champ de l'instrument et l'on ne peut

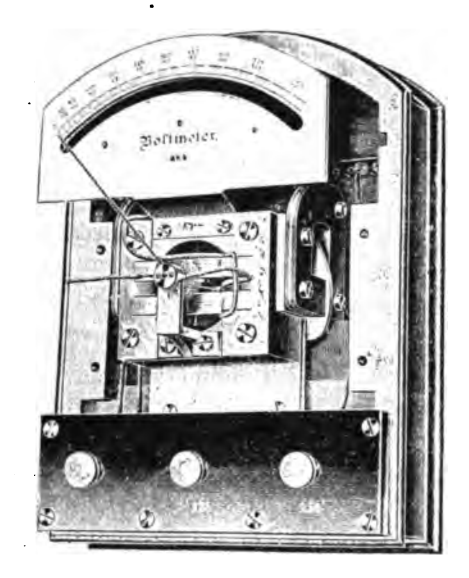


Fig. 3. — Voltmètre pour courant alternatif.

avoir d'échelle pratique; en outre le magnétisme permanent est peu à peu anéanti par le courant. Mais si l'on étalonne avec un cou-

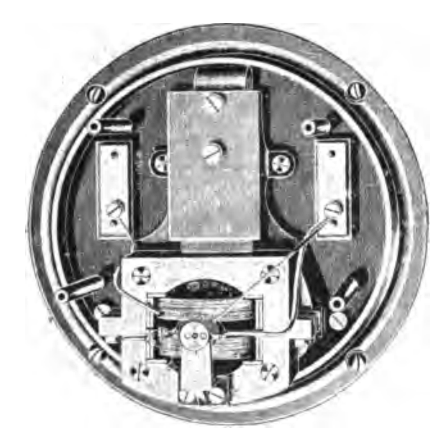


Fig. 4. — Wattmètre pour courant alternatif.

rant alternatif, cette impossibilité disparaît en se gardant des erreurs provenant de l'hystérésis et des courants de Foucault. Il s'agissait donc de perfectionner les méthodes d'étalonnages pour les rendre applicables aux courants alternatifs.

Les figures 1, 2, 3, représentent l'ensemble des instruments. E est une pièce formée de tôles assemblées, possédant en son milieu une ouverture limitée par des arcs de cercle, dans laquelle se trouve la bobine F. A l'intérieur de cette dernière se trouve la bobine mobile B tournant autour de l'axe A. Sur le même axe se trouve l'aiguille Z et la plaque d'aluminium R dont le bord externe se meut entre les pôles des deux aimants amortisseurs D. La pièce de fer E sert à capter les lignes de force engendrées par les bobines mobiles et à leur donner la forme indiquée par la figure 2. De la sorte les aimants amortisseurs ne sont pas atteints par les lignes de force et leur magnétisme ne s'affaiblit pas. La partie intérieure de l'instrument dans laquelle se meut la bobine est sans fer. La figure 4 indique la disposition des instruments servant aux tableaux de distribution : l'aimant amortisseur est sous le noyau de fer.

Dans le voltmètre, une bobine fixe et une bobine mobile sont mises en série avec une résistance de protection. L'instrument représenté par la figure 3 comporte deux échelles l'une pour 125, l'autre pour 250 volts. La résistance totale des deux bobines est d'environ 130 ohms, la résistance de protection de 2000 ohms, soit au total 2130 ohms, ce qui consomme 0,06 ampère et 7,5 watts : ces chiffres sont très remarquables pour le courant alternatif. La résistance de protection a un coefficient de température très faible, de sorte que le coefficient de température de l'ensemble est d'environ 0,0024, c'est-à-dire négligeable.

En ce qui concerne le wattmètre, la bobine fixe porte deux enroulements aboutissant à quatre bornes spéciales : on peut donc les mettre en série ou en parallèle, ce qui donne deux échelles pour les intensités. A cet effet on se sert de deux fiches représentées figure 5. La figure 6 donne le schéma: H sont les bornes du courant principal, 1, 2, 3, 4 sont les trous des fiches. Si l'on met une fiche en 3 pendant que les autres trous restent ouvert, les deux enroulements sont mis en série; si on met les fiches 1, 2, 4 les deux enroulements sont en parallèle et l'échelle est double; si l'on met une fiche en 1, l'instrument est en court-circuit, ceci est très important au moment du démarrage des moteurs, pour protéger le wattmètre contre les courants trop intenses. Les bornes N_1, N_2, N_3, servent au circuit en dérivation. En N_1, se trouve un crochet mobile

qui sert à réunir cette borne au courant principal. Cette connexion sert pour les mesures à haute tension, où il faut éviter de trop grandes



Fig. 5. — Wattmètre pour courant alternatif.

différences de potentiel entre les bobines fixe et mobile. Il y a également deux échelles pour les volts : les résistances de protection correspondantes sont reliées l'une à N_2, l'autre à N_3.

Les indications d'un wattmètre doivent être indépendantes du décalage dans le circuit où l'on fait la mesure. La puissance est

$$P = C \frac{1 + tg^2 \psi}{1 + tg\varphi\, tg\psi}$$

où C est la puissance lue (pour un courant non décalé), φ le décalage entre le courant et la force électro-motrice du circuit principal, ψ le décalage dans le circuit dérivé du wattmètre.

Les indications sont indépendantes du décalage si le terme de correction est 1. Cela est le cas si $tg\psi = 0$, or $tg\psi$ est le rapport de la réactance à la résistance du circuit dérivé, et ce rapport est presque nul. Le terme de correction est ici négligeable même s'il s'agit de la mesure des pertes à vide d'un moteur ou d'un transformateur.

Dans tous ces instruments le couple déviant dépend du courant dans la bobine mobile qui dépend lui-même de l'impédance de cette bobine. Donc, *en théorie*, les indications de ces instruments dépendent de la fréquence ; en pratique, il n'en est rien car l'impédance diffère excessivement peu de la résistance. Cela tient à ce que les bobines se meuvent dans un espace sans fer et que les lignes de force ne traversent du fer qu'à leur retour. La majeure partie de ce

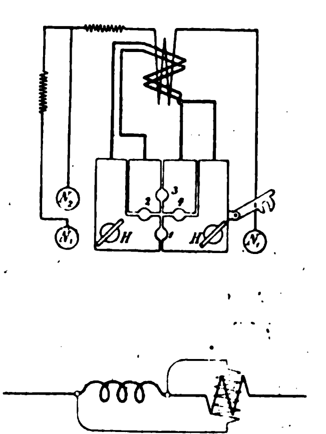


Fig. 6 et 7. — Schéma du wattmètre et de l'ampèremètre.

circuit magnétique se compose donc d'air. En ce qui concerne l'hystérésis, l'induction du noyau de fer est si faible, qu'on ne remarque aucune influence. Ce qui montre bien que les indications sont indépendantes de la fréquence, c'est que

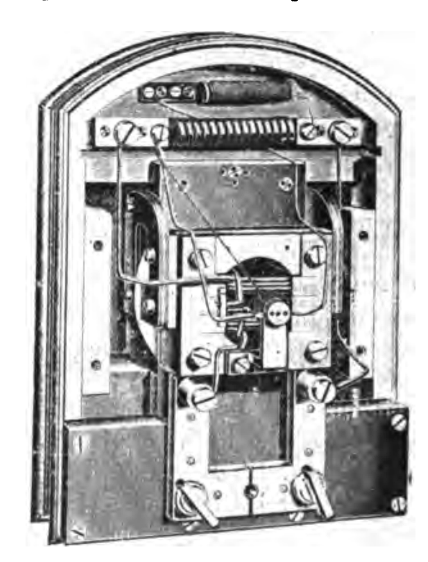


Fig. 8. — Ampèremètre pour courant alternatif (le cadran enlevé).

pour un courant de fréquence 50 et pour un courant continu les indications sont sensiblement les mêmes ; il s'ensuit que l'influence de la forme de la courbe est absolument négligeable.

Dans les ampèremètres, la bobine fixe est

parcourue par le courant à mesurer, tandis que la bobine mobile est placée en dérivation sur une résistance mise en série avec la bobine fixe (fig. 7). La figure 8 représente l'intérieur d'un ampèremètre, l'échelle étant enlevée, la bobine fixe peut comme dans les wattmètres être divisée en deux parties de manière à donner deux échelles. Il est évident que le coefficient de température n'est plus négligeable, comme d'ailleurs dans l'ampèremètre continu à bobine mobile, car si on voulait mettre en dérivation une forte résistance indépendante de la température, il faudrait prendre une grande résistance en série qui consommerait beaucoup d'énergie. On peut d'ailleurs diminuer le coefficient de température en fabriquant la résistance entière avec un métal dont le coefficient corresponde à celui de la dérivation.

E.-B.

MAGNÉTISME

Magnétisme des atomes, par **R. Lang**. *Drude's Annalen*, t. II, p. 483-495, juillet 1900.

L'hypothèse des courants particulaires d'Ampère a été complétée dans ces derniers temps par une autre, d'après laquelle ces courants seraient les courants de convection engendrés par la rotation des charges liées aux ions. Richarza a développé les conséquences de cette idée et a calculé *a priori* le moment magnétique correspondant à la saturation de l'atome de fer. Il a trouvé des nombres du même ordre de grandeur que ceux donnés par les expériences (8 C. G. S. au lieu de 220).

Richarz était parti de cette hypothèse, que la rotation des charges liées aux ions doit engendrer des ondes électrodynamiques de période plus longue que celle des dernières ondes lumineuses rouges visibles : sans quoi ces ondes seraient lumineuses. Il admet ensuite que le diamètre de la trajectoire des ions est égal au côté du cube élémentaire qui correspond à l'atome Fe, $1,5\ 10^{-8}$ cm. : que la charge d'un ion (par valence) est de $43,10^{-22}$ C. G. S. et qu'il y a dans 1 gr de fer $4,10^{-22}$ molécules.

R. Lang s'appuie sur les propriétés des dissolutions électrolytiques et paramagnétiques et les nombres relatifs à ces dissolutions sont tout différents de ceux que Richarz a utilisés. Cependant R. Lang arrive à un résultat du même ordre de grandeur que celui de Richarz, ce qui d'après lui justifie le principe de ces calculs.

Ce qui est plus curieux, c'est que le résultat est à peu près le même, en supposant que la période est non pas plus longue, mais beaucoup plus courte que celle de la lumière rouge extrême. Il est donc impossible de décider par cette voie laquelle des deux hypothèses est la plus plausible.

D'après Lang le diamètre δ des trajectoires serait de l'ordre de 10^{-9} cm. et T serait de l'ordre de 10^{-19} sec.

La valeur de δ ne diffère pas de celle qu'on admet généralement : mais T peut paraître bien petit.

Pour justifier cet ordre de grandeur, Lang se reporte aux théories de J.-J. Thomson et de Drude.

D'après ces théories, les ions positifs et négatifs auraient les mêmes charges, mais des masses mécaniques très différentes, beaucoup moindres pour les ions négatifs. Dans les cas des courants particulaires il faudrait donc regarder les ions positifs comme des centres autour desquels graviteraient les ions négatifs et c'est la période de ces derniers qui serait égale à 10^{-19} sec. Leur vitesse linéaire serait alors du même ordre de grandeur que la vitesse de propagation de la lumière et que celle des particules cathodiques (Thomson, Lenard).

En ce qui concerne δ, il faut remarquer que δ^3 ne répond pas exactement au volume atomique tel qu'on le définit en chimie : ce volume atomique sera, en général, plus grand que δ^3. Cependant il est à supposer que plus le volume atomique est petit, plus δ est lui-même petit : d'autre part, plus δ est grand, plus la sphère d'action moléculaire sera grande aussi. On trouve ainsi une relation numérique se rattachant à cette remarque expérimentale que les éléments magnétiques ont un volume atomique minimum.

Il résulte de ce qui précède qu'une substance pour être paramagnétique doit avoir un volume atomique minimum et des valences libres : c'est le cas de l'oxygène, le seul des gaz qui soit paramagnétique. St. Meyer a trouvé que le magnétisme moléculaire d'une combinaison paramagnétique est plus petit que la somme des magnétismes atomiques ; l'oxydation paraît diminuer la susceptibilité atomique de l'élément.

D'après la présente théorie, il doit en être ainsi, puisque la combinaison diminue le nombre des valences libres.

Il n'est pas nécessaire de supposer les ions négatifs invariablement liés à leur ion positif. Si un ion négatif acquiert une vitesse plus grande que la vitesse de révolution autour de son centre positif, il peut sortir de la sphère d'action de ce centre et entrer dans celle d'une autre. Dans certaines conditions, ces ions négatifs peuvent créer une différence de potentiel : en fait, une électrode aimantée est toujours négative vis-à-vis d'une électrode non aimantée (expériences de Hurmuzescu).

Ces remarques de R. Lang sont certainement intéressantes : cependant, il est impossible de se dissimuler que toutes ces considérations reposent sur une base bien fragile et des données bien incertaines. M. L.

Girouette magnétique, par **G. Jaumann**. *Drude's Annalen*, t. II, p. 96-102, mai 1900.

Cette girouette magnétique est une aiguille aimantée, mobile autour d'un axe ne passant pas par son centre de figure. Cette aiguille indique l'existence des tourbillons de force magnétique, comme une girouette ordinaire décèle l'existence d'un tourbillon fluide ; les deux espèces de mouvement ont les mêmes caractères géométriques, quoique les causes en soient différentes.

A l'intérieur d'un conducteur parcouru par un courant, où il existe des tourbillons de la force magnétique, la girouette magnétique prend un mouvement de rotation continue, en dehors du conducteur, elle s'oriente dans la direction de la force magnétique.

L'aiguille *ns* (fig. 1) est traversée très près de son extrémité par l'axe : cet axe se termine par deux pointes, *a*, *b* sur lesquelles il peut tourner facilement. Le courant passe dans le mercure qui remplit le seau de verre jusqu'au-dessus du bord et redescend par le manchon de cuivre qui entoure étroitement le verre. Toutes les connexions sont symétriques par rapport à l'axe. On réalise ainsi à l'intérieur du mercure un champ magnétique tourbillonnaire sensiblement uniforme, tandis qu'à l'extérieur le champ est nul.

Les curseurs *m* servent à compenser la poussée qu'exerce le mercure sur l'équipage mobile. On compense le champ terrestre à l'intérieur

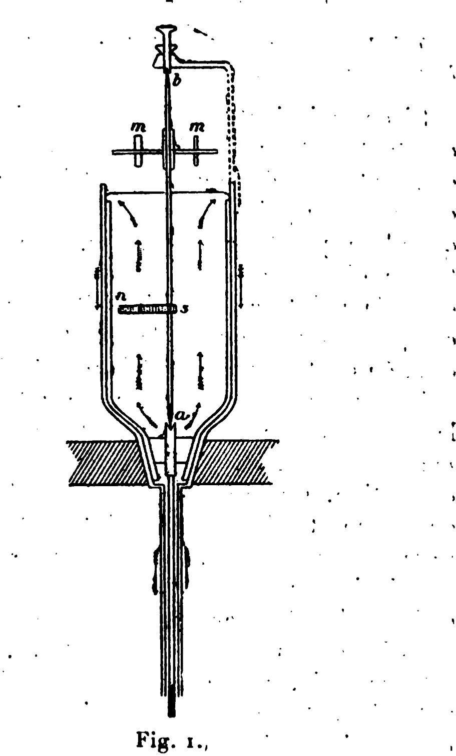


Fig. 1.

du mercure par des aimants convenablement disposés [1].

[1] En admettant que l'axe *ab* soit très mince et passe exactement par le pôle de l'aimant, le moment du couple exercé par le courant sur l'aimant a pour valeur :

$$D = 2IM \frac{r}{R^2}$$

en appelant I l'intensité du courant, M le moment magnétique de l'aimant, *r* la distance entre les deux pôles, R le rayon du cylindre de mercure.

D'autre part le mercure éprouve une réaction et se met à tourner en sens contraire de l'aimant. Si ω est la vitesse angulaire de l'aimant, ω' celle du mercure, le travail électromagnétique par unité de temps est

$$(\omega - \omega')\, D = EI$$

en appelant E la force électromotrice induite par ce mouvement, donc :

$$E = 2M \frac{r}{R^2} (\omega - \omega')$$

Si on cherche à mesurer cette force électromotrice en faisant tourner l'aimant au moyen d'un petit moteur, on trouve des valeurs qui décroissent jusqu'à 0, parce que ω' tend vers ω : ce n'est qu'au début que E a la valeur calculée. Quand ω' est devenu à peu près égal à ω, on trouve pour E la valeur théorique, mais en sens contraire, quand on arrête brusquement l'aimant. M. L.

DÉCHARGE ÉLECTRIQUE

Décharge par les pointes, par **E. Warburg**. *Drude's Annalen*, t. II, p. 295-317, juin 1900.

Si on maintient une différence de potentiel constante entre une pointe et un disque relié au sol, l'intensité du courant électrique qui se produit entre la pointe et le disque est plus intense quand la pointe est négative. Il est vraisemblable d'après cela que la chute de potentiel entre la pointe et un point situé au voisinage est plus grande quand la pointe est positive : c'est en effet ce que l'expérience vérifie.

Pour mesurer la différence de potentiel entre la pointe et un point de l'intervalle parcouru par le courant, M. Warburg emploie une sonde de platine, reliée à l'aiguille d'un électromètre de Braun, tandis que la pointe est reliée à la cage de l'instrument. Les différences de potentiel ainsi mesurées sont un peu plus faibles que celles indiquées par un appareil à écoulement, mais les écarts sont peu importants.

Dans l'air, par exemple, la différence de potentiel entre la pointe électrisée négativement et un point éloigné de 0,75 mm est environ les deux tiers ou les trois quarts de ce qu'elle est quand la pointe est électrisée positivement. La différence est plus grande dans l'hydrogène, plus petite dans l'oxygène.

On sait que dans la décharge par lueurs la chute de potentiel à la cathode est beaucoup plus grande que la chute à l'anode. Si on fait varier la pression du gaz de façon à obtenir la décharge par lueurs, la chute de potentiel à la pointe, ne varie presque pas quand la pointe est négative, mais tombe au treizieme de sa valeur primitive quand la pointe est positive. L'explication de ce phénomène est sans doute la suivante. Dans le passage d'un mode de décharge à l'autre, la lumière négative ne subit pas de grande transformation ; elle s'étend seulement sur une portion un peu plus grande du fil formant la pointe : il n'en résulte pas de variation bien prononcée dans l'étendue de la région traversée par le courant et dans la densité des ions. Au contraire, quand la pointe est positive, la lumière se contracte en une bande étroite, lorsque la décharge par lueurs se produit ; il s'ensuit que la densité des ions et par suite la conductibilité augmentent : la chute de potentiel diminue.

Le gradient du potentiel croît en valeur absolue quand on s'approche du disque : il doit donc se produire au voisinage du disque une accumulation d'électricité de même signe que celle de la pointe.

Si on remplace la pointe par un fil de platine incandescent, bien décapé, rien n'est changé. Mais avec un fil de platine enduit d'huile, la différence entre les chutes de potentiel change de sens, quand la différence de potentiel entre la pointe et le disque est petite ; elle reprend le sens ordinaire quand la différence de potentiel est grande.

En remplaçant le fil de platine huilé par un fil placé dans la flamme d'un bec de Bunsen, le bec servant lui-même de prise de terre, on obtient des résultats plus réguliers, mais de même nature. Ceci suggère l'explication suivante :

L'air à la pression et à la température ordinaires ne devient conducteur, abstraction faite d'actions particulières comme celle des rayons de Röntgen et analogues, que sous l'influence d'un champ électrique considérable. Les gaz de la flamme au contraire sont déjà conducteurs pour des champs électriques relativement faibles : ils renferment déjà des ions libres. La chute de potentiel à la cathode est plus grande qu'à l'anode. Mais quand le potentiel du fil de platine dépasse une certaine valeur, à la conduction primitive par les ions de la flamme, s'ajoute la conduction par les ions qui prennent naissance au voisinage du fil sous l'action du champ intense régnant dans cette région. La conductibilité de ces derniers ions est plus grande quand la pointe est négative et par conséquent à partir d'un certain potentiel du fil le courant devient plus intense quand la pointe est négative.

La conductibilité des gaz de la flamme, indépendamment des phénomènes qui se passent aux électrodes dépend de l'intensité du courant. Si cette intensité est faible, la conductibilité diminue quand l'intensité augmente. Si l'intensité a une valeur moyenne, la conductibilité en est indépendante et quand elle devient plus grande, la conductibilité croît avec elle.

Les impuretés contenues dans le gaz qui entoure la pointe ont une très grande influence sur la décharge. Cette influence est marquée surtout dans l'azote. Quand on maintient la pointe à un potentiel constant, l'intensité de la

décharge diminue avec le temps. Si on remplit le récipient avec du gaz fraîchement préparé, l'intensité de la décharge reprend sa valeur primitive, puis diminue comme la première fois. Cette variation disparaît presque complètement quand le gaz azote est bien purifié, mais se reproduit quand on chauffe les parois.

Dans l'azote bien dépouillé d'oxygène, l'intensité du courant est environ 200 fois plus grande quand la pointe est au potentiel de — 3 310 volts que quand elle est au potentiel de + 3 180. Au contraire, dans l'azote renfermant des traces d'oxygène, le rapport des intensités pour les potentiels + 4 850 et — 4 850 n'est que de 1 à 4.

Dans l'hydrogène, l'intensité de la décharge négative croît notablement quand on purifie le gaz : celle de la décharge positive varie peu. Même résultat avec l'hélium.

L'oxygène se comporte tout différemment des autres gaz : la décharge positive esl plus intense que la décharge négative. Il est probable qu'il faut en chercher la raison dans la formation de l'ozone ; en fait, quand on élève la température, ce qui diminue la quantité d'ozone formée, les résultats deviennent plus réguliers. Avec l'hydrogène au contraire, l'influence de la température est très faible. M. L.

Chute de potentiel et dissociation dans les gaz d'une flamme, par **E. Marx**. *Drude's Ann.*, t. II, p. 768-798, juillet 1900.

Arrhénius a démontré que la conduction de l'électricité dans une flamme renfermant des vapeurs d'un sel métallique s'effectue par l'intermédiaire d'ions identiques aux ions électrolytiques. Ce résultat a été confirmé par le travail récent de MM. Smithells, Wilson et Dawson.

La différence essentielle entre la conduction dans les gaz et la conduction électrolytique consiste en ce que la première n'obéit pas à la loi d'Ohm. Cette divergence peut tenir à deux causes. Ou bien l'hypothèse fondamentale de la loi d'Ohm, c'est-à-dire la proportionnalité de l'intensité à la différence de potentiel n'est pas vérifiée : ou bien elle reste vraie; mais déjà pour des différences de potentiel assez faibles, grâce à la faible concentration des ions, on obtient un courant de saturation. Dans le premier cas, on dira que les écarts sont réels, dans le second, que les écarts sont apparents.

Pour reconnaître jusqu'à quelle limite les écarts sont réels ou apparents, M. Marx a mesuré la chute de potentiel dans les flammes, comme préliminaire à ses recherches sur le phénomène de Hall dans ces flammes.

Dans la flamme d'un bec papillon, il projette une dissolution saline au moyen d'un pulvérisateur de Gouy alimenté par un courant d'air sous pression constante.

Dans la flamme sont disposées deux électrodes en toile métallique, l'une à la base, l'autre à la partie supérieure ; ces électrodes sont reliées aux pôles d'une batterie d'éléments Clark. Entre les deux, on déplace dans la flamme un fil de cuivre, relié à un électromètre à cadran et on détermine la différence de potentiel entre ce fil et la cathode. Un galvanomètre inséré dans le circuit de la pile fait connaître l'intensité du courant.

Le champ électrique du côté de la cathode diminue quand la température de l'anode diminue : en même temps le champ du côté de l'anode augmente.

Ce résultat ne peut s'expliquer en admettant qu'il y ait seulement dissociation à la surface de la flamme, sans recombinaison des ions. Dans ce cas, en effet, la dérivée du champ en un point par rapport à la distance de ce point aux électrodes serait indépendante de cette distance et ne saurait changer de signe. Il est donc probable qu'outre la dissociation à la surface il se produit aussi une dissociation interne, dans l'intérieur de la flamme. Il semble même que cette dissociation interne est d'autant plus grande vis-à-vis de la dissociation superficielle que la différence de potentiel entre les électrodes est plus faible ; pour de très faibles différences de potentiel, la dissociation interne peut même devenir prépondérante.

Il doit être possible alors d'évaluer, d'après la variation du champ observée, la vitesse de migration des ions dans la flamme, si la disposition expérimentale permet d'affirmer qu'en chaque point de la flamme, cette vitesse est proportionnelle au champ, c'est-à-dire si on évite toute accélération.

Ces accélérations peuvent provenir de deux causes indépendantes l'une de l'autre.

D'abord les frottements qui, suivant la théorie cinétique des gaz, croissent proportionnellement à la température, ne suffisent plus à absorber

l'énergie fournie par le courant, quand la température de l'une des électrodes descend audessous d'une certaine limite. D'autre part, si la température est suffisamment élevée et constante, l'hypothèse fondamentale de la loi d'Ohm peut n'être plus vraie, quand la différence de potentiel devient trop grande.

Un calcul analogue à celui qui se rencontre dans la théorie cinétique des gaz conduit à ce résultat que des écarts réels de la loi d'Ohm sont vraisemblables déjà quand la différence de potentiel est de 2 volts.

En effet, le champ peut atteindre 100 $\frac{\text{volt}}{\text{cm}}$, sans que la loi d'Ohm cesse d'être vérifiée. Mais même avec une chute totale de potentiel de 2 volts, le champ à la cathode peut être de 253 $\frac{\text{volt}}{\text{cm}}$.

Ce qui précède suppose que les deux électrodes sont à la même température. En maintenant l'anode à une température notablement plus basse, on augmentera le champ à l'anode et on le diminuera à la cathode.

La différence de potentiel limite au-dessus de laquelle la loi du courant s'écarte de la loi d'Ohm croît, pour une même température, en raison inverse de la vitesse de l'ion considéré pour le champ 1. Comme la vitesse de l'ion positif parait être beaucoup plus petite que celle de l'ion négatif, la température de l'anode peut être plus basse que celle de la cathode.

Le calcul qui conduit à ces résultats suppose que les ions ne sont soumis à aucune autre force que la force électromotrice qui crée la différence de potentiel entre les électrodes. Mais dans la flamme les conditions sont plus compliquées : parce que dans la flamme non seulement les ions, mais aussi les molécules gazeuses sont en mouvement : les gaz de la flamme possèdent donc une certaine conductibilité. On peut en tenir compte en déterminant la chute de potentiel dans la flamme pure, c'est-à-dire dans laquelle on ne projette pas de sel métallique et en la retranchant de la chute observée dans la flamme colorée.

Les nombres trouvés pour la vitesse des ions dans diverses expérieuces sont :

Pour les ions négatifs : 1400, 800, 1200 $\frac{\text{cm}}{\text{sec}}$.

Pour les ions positifs : 260, 250, 300 $\frac{\text{cm}}{\text{sec}}$.

il ne s'agit, bien entendu, que de l'ordre de grandeur. Même quand la différence de potentiel est de 75 éléments Clark, que par conséquent on doit s'attendre à des écarts réels de la loi d'Ohm, les vitesses calculées sont encore de cet ordre de grandeur.

Wilson avait trouvé pour l'ion négatif une vitesse de 1000 $\frac{\text{cm}}{\text{sec}}$, mais pour le rapport des deux vitesses 1/17 au lieu de 1/5 qui ressort des chiffres précédents.

Il ne paraît donc pas douteux que la vitesse des ions dans la flamme soit environ 10^6 fois plus grande que dans les électrolytes et la différence entre les vitesses des ions positifs et négatifs encore beaucoup plus grande.

Les rayons ultraviolets ou les rayons de Röntgen ne provoquent pas d'ionisation dans les gaz de la flamme. La conductibilité de la flamme doit être plutôt attribuée à une résonance électrodynamique des ions OH qui s'y trouvent toujours. M. L.

Propriétés électrodynamiques des gaz conducteurs, par **H. Kaufmann**. *Drude's Annales*, t. II, p. 158-179, mai 1900.

Les gaz conducteurs se distinguent des conducteurs métalliques en ce que l'intensité du courant varie d'une manière discontinue quand on fait varier d'une manière continue l'un des facteurs qui déterminent l'intensité d'un courant stationnaire. Ainsi quand on fait varier la force électromotrice de la source d'électricité, la résistance extérieure, la température ou la pression du gaz, l'intensité du courant et la différence de potentiel entre les extrémités de la colonne gazeuse subissent des variations discontinues. Ces variations sont fréquemment accompagnées d'un changement complet dans l'aspect de la décharge. Il suffit de rappeler comme exemples : le passage brusque de la décharge par lueurs à la décharge par arc : l'extinction soudaine de la décharge quand le courant descend au-dessous d'une certaine limite : l'apparition soudaine de la décharge avec une intensité de courant finie quand on a atteint la différence de potentiel dite de décharge, etc.

Certains régimes de courant sont stables, d'autres instables et il faut pour qu'il y ait stabilité, que les variables dont dépend le courant satisfassent à diverses conditions.



L'auteur démontre que quand la colonne gazeuse est placée en série sur le circuit d'une source de force électromotrice, le régime est stable ou instable suivant que $R + \frac{dE}{dI}$ est plus grand ou plus petit que zéro, E étant la différence de potentiel entre les extrémités de la colonne gazeuse, I l'intensité du courant qui la traverse et R une résistance mise en série avec elle [1].

Un régime stable se changera en régime instable quand :

$$R = \frac{dE}{dI} = 0$$

ce qui correspond sur le diagramme au cas où la droite est tangente à la courbe.

Par exemple, quand on fait croître l'intensité du courant dans une décharge par lueurs, jusqu'à ce que la cathode commence à se vaporiser, la différence de potentiel qui d'abord décroissait lentement tombe d'un coup de 350 à 30 volts et ensuite reste à peu près constante.

Il résulte de là que la courbe $E = f(I)$ doit avoir une allure analogue à celle que représente la figure 1. De I_1 à I_2, le régime est stable : il devient instable en I_2 et le courant croît de lui-même jusqu'à I_3 où le régime devient de nouveau stable. Si on veut revenir en arrière, en augmentant la résistance on obtient d'abord la partie inférieure de la courbe, c'est-à-dire que la décharge par l'arc, une fois établie, subsiste. En I_4, le régime redevient stable et le courant passe brusquement de la valeur I_4 à la valeur plus faible I_5.

Les expériences effectuées sur l'arc, en augmentant rapidement la résistance jusqu'à étein-

---

(1) Soit un circuit fermé, dans lequel sont insérées une source électrique de force électromotrice E_0, une résistance R et la colonne de gaz conducteur. Les variables indépendantes seront E_0 et R : les autres facteurs seront regardés comme constants ou du moins comme tels qu'à chacune de leurs valeurs corresponde une valeur bien déterminée du courant.

Entre l'intensité stationnaire I du courant et la différence de potentiel E entre les extrémites du gaz, existe une relation :

$$E = f(I)$$

qu'on peut représenter par une courbe, que nous appellerons *courbe caractéristique* et qu'il est possible de tracer empiriquement.

A chaque valeur I_1 du courant stationnaire correspondent une infinité de couples de valeurs de E_0 et de R : toutes ces valeurs satisfont à la condition :

$$E_0 - RI_1 = E_1 = f(I_1).$$

En général, $f(I)$ ne sera pas donnée sous forme algébrique, mais représentée par une courbe : pour résoudre l'équation, il sera donc tout indiqué de procéder par la méthode graphique. Par le point de la courbe représen-

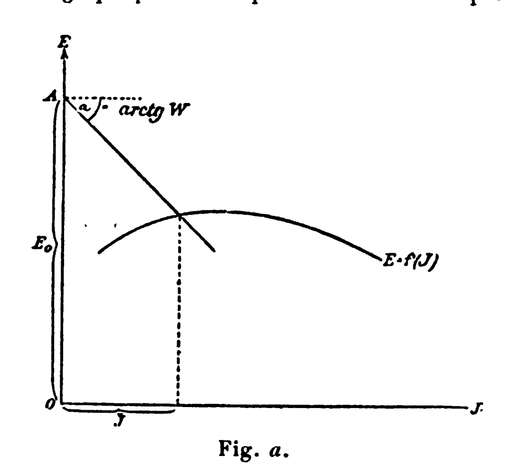


Fig. *a*.

tant I_1 et E_1, nous menons une droite quelconque qui coupe l'axe des E en A (fig. *a*) : en prenant $E_0 = OA$ et $R = \text{tang}\,\alpha$, nous aurons un des couples de valeurs cherchés.

Si on fait varier le courant, on aura :

$$E_0 - RI - E = I\frac{dI}{dt}.$$

Soit η la variation du courant, à partir de la valeur de régime stationnaire considérée :

$$I = I_1 + \eta$$

et on trouve par un calcul facile :

$$\eta = \eta_0\, e^{-\frac{1}{L}\left(R + \frac{dE}{dI}\right)t}$$

η_0 étant la variation initiale. La variation η s'annulera donc quand le temps croît, si

$$R + \frac{dE}{dI} > 0.$$

Autrement, si

$$R + \frac{dE}{dI} < 0$$

le régime sera instable. Ceci peut avoir lieu seulement si $\frac{dE}{dI} < 0$, c'est-à dire si la différence de potentiel aux extrémités de la colonne gazeuse décroît quand l'intensité du courant augmente.

dre l'arc et mesurant plusieurs fois l'intensité du courant, ont donné pour R_{max} une valeur un peu plus grande que pour $-\frac{\Delta E}{\Delta I}$.

Cette différence s'explique parce qu'on détermine par l'expérience le quotient de $\frac{\Delta E}{\Delta I}$ de différences finies et non des différentielles mêmes $\frac{dI}{dE}$.

En reliant les électrodes qui limitent la co-

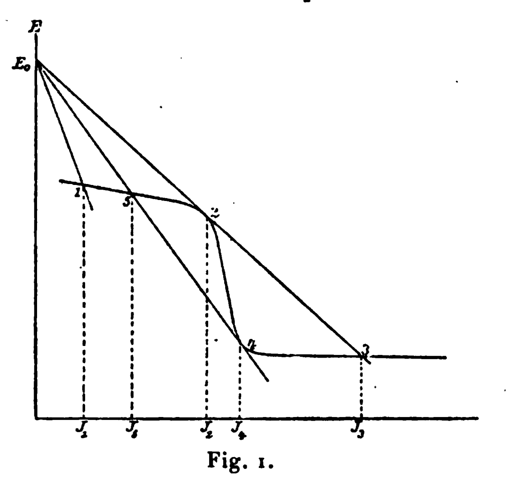


Fig. 1.

lonne gazeuse sans l'intermédiaire d'une résistance aux pôles d'une source d'électricité dont on fait croître progressivement la force électromotrice E_0, on obtient deux arcs de courbe différents suivant que E_0 est inférieur ou supérieur à une certaine valeur E'.

Si $E_0 < E'$, la courbe monte très rapidement, c'est-à-dire que le courant est extrêmement faible. Quand E_0 est devenu égal à E' le courant augmente brusquement : on obtient la décharge sous forme de lueur ou d'étincelle suivant les cas. La nature de cette décharge dépend de l'allure de la courbe audelà du point anguleux E', correspondant à la différence de potentiel dite de décharge. Si la courbe descend, $\frac{dE}{dI}$ est négatif et comme $R = 0$, il y a instabilité ; si la courbe monte, $\frac{dE}{dI}$ est positif, il y a stabilité, donc décharge par lueur.

Les valeurs de la différence de potentiel de décharge par étincelles déterminées directement (entre une pointe et un plan) et les valeurs obtenues en construisant la courbe comme on l'a définie ci-dessus, sont en accord satisfaisant ; elles correspondent bien à $\frac{dE}{dI} \leq 0$.

Il semble d'après la condition de stabilité

$$R + \frac{dE}{dI} > 0$$

qu'en faisant croître R, on devrait transformer la décharge par étincelle en décharge continue. En réalité, on obtient seulement une succession de décharges partielles, ce qui résulte de la capacité des électrodes. On ne réalise la décharge continue qu'en disposant la résistance à la surface même des électrodes ; ceci se réalise en recouvrant les électrodes de calottes de bois.

Pour expliquer le retard à la décharge, Kaufmann considère ce qu'il appelle le *travail de transformation* T, ce que nous pouvons appeler *travail préliminaire*. C'est le travail nécessaire pour amener le gaz de l'état non conducteur à l'état qui correspond au courant I (travail d'ionisation dans la théorie des ions). Pour tenir compte de ce travail, il faut remplacer la self-induction réelle L, par une self-induction apparente

$$L' = L + \frac{1}{I}\frac{dT}{dI}.$$

Tant que I reste petit, on a, selon toute probabilité :

$$\frac{dE}{dI} = \text{const.}$$

Alors pour $I = 0$, $L' = \infty$ et le retard serait infiniment grand. Cette circonstance ne se présente jamais, ainsi que l'ont démontré plusieurs observateurs.

Il résulte donc de l'équation

$$R + \frac{dE}{dI} = 0$$

que tout phénomène susceptible de provoquer un courant ou de renforcer un courant préexistant, augmentera $\frac{dI}{dt}$ et par conséquent diminuera le retard à la décharge ; les rayons ultraviolets, les rayons de Röntgen, les rayons de Becquerel sont des phénomènes de ce genre.

Aussi dans des conditions convenables l'irradiation du gaz provoque la transformation de la décharge par étincelle en décharge continue.

Un cas intéressant à considérer est encore celui où la colonne gazeuse est disposée en dérivation sur un condensateur de capacité C. Soient l, r, la self-induction et la résistance de

la dérivation L, et R la self-induction et la résistance du circuit renfermant le condensateur et la source dont la force électromotrice est E_0; i l'intensité du courant dans le gaz, I cette intensité dans le second circuit.

Les conditions de stabilité du régime sont exprimées par les équations

$$\frac{1}{CR} + \frac{1}{l}\frac{dE}{di} > 0$$

$$1 + \frac{\frac{dE}{di}}{R} > 0$$

ces conditions sont nécessaires et suffisantes. Elles sont toujours satisfaites quand

$$\frac{dE}{di} > 0$$

c'est-à-dire quand la différence de potentiel E aux extrémités du gaz croît en même temps que l'intensité du courant. Le régime est alors stable et une décharge intermittente est impossible.

Si les deux conditions ne sont pas remplies, une perturbation même légère provoque un écart de plus en plus grand ; suivant la grandeur des facteurs qui entrent en jeu, la variation du courant est apériodique ou bien le courant subit des oscillations d'amplitude croissante autour d'une certaine valeur moyenne i_1. Cette variation est continue jusqu'à ce que i change de signe ; à ce moment E croît rapidement et le courant reste nul si la différence de potentiel E_1 entre les armatures du condensateur est plus petite que E. Il reste nul jusqu'à ce que le courant extérieur I ait ramené à la valeur E la différence de potentiel entre les électrodes. M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 8 octobre 1900.

Recherches sur l'effet inverse du champ magnétique que devrait produire le mouvement d'un corps électrisé, par **V. Cremieu**. *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 578-581.

On se souvient que des recherches antérieures de l'auteur sur l'existence d'un champ magnétique produit par un corps électrisé en mouvement l'ont conduit à cette conclusion : il semble bien que le déplacement d'un corps électrisé ne produit pas de champ magnétique le long de sa trajectoire [1].

Or l'application du principe de la conservation de l'énergie montre, comme l'a fait observer M. Lippmann, que si un champ magnétique se produit dans ces conditions, des variations magnétiques devraient, réciproquement, produire un mouvement des corps électrisés placés dans le champ. M. Crémieu s'est donc trouvé conduit, pour vérifier l'exactitude de sa conclusion, à rechercher si un tel mouvement se produit.

L'appareil qu'il a employé se compose d'un disque d'aluminium fixé par deux points diamétralement opposés à un cadre de verre très léger et percé d'une ouverture centrale. Dans cette ouverture passe un noyau de fer doux lamellé ; deux bobines sont enroulées sur ce noyau de part et d'autre du disque d'aluminium.

L'expérience consiste à charger ce disque puis à envoyer un courant dans les bobines. Si la réciproque énoncée plus haut est vraie on doit observer une impulsion à la fermeture du courant et une impulsion en sens inverse de la rupture. Pour rendre l'observation plus facile, M. Crémieu transforme l'impulsion en une déviation permanente au moyen d'un commutateur tournant qui change le signe de la charge du disque un peu avant chaque fermeture et chaque ouverture.

La densité superficielle de la charge du disque étant de 90 à 130 unités C. G. S. électrostatiques et les variations d'intensités du champ magnétique de 7000 à 8100 unités C. G. S. électromagnétiques, la force exercée sur le dis-

[1] *L'Écl. Élect.*, t. XXIII, p. 429, 16 juin 1900.

que dans ces conditions aurait produit, sur une échelle placée à 1,10 m du miroir fixé sur la suspension, des déviations de 100 mm à 140 mm. M. Crémieu n'a pu en observer aucune.

Sa conclusion antérieure se trouve ainsi vérifiée indirectement.

Télégraphie sans fil par ondes hertziennes. Inconvénients des relais successifs Guarini, par **Guarini** et **Poncelet**. *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 581-583.

Les auteurs considèrent la transmission de signaux Morse par une ligne munie de relais. Ils font observer qu'entre l'instant où l'on ferme le circuit de la bobine d'un relais et l'instant où celui-ci ferme, par suite de l'attraction de son armature, le circuit qu'il commande, il s'écoule un certain temps t_1, tandis que la rupture de ce dernier circuit se produit à l'instant précis où l'on interrompt le circuit de la bobine du relais. Par conséquent, si t est la durée d'un signal Morse, le circuit commandé par le relais ne sera fermé que pendant un temps $t - t_1$ et la durée de l'inscription de ce signal par l'appareil récepteur sera réduite à $t - t_1 - t'$, t' désignant la durée de l'excursion de l'électro-aimant du relais du poste enregistreur. S'il y a plus d'un relais intermédiaire, la durée de l'inscription se trouve réduite à

$$t - (t_1 + t_2 + t_3 + .., + t_n + t').$$

Comme il faut évidemment que cette différence soit positive, les auteurs en concluent que si l'on augmente le nombre de relais il faut en même temps diminuer les retards t_1, t_2, ... Ils ajoutent :

» Une des premières conditions de l'emploi de relais successifs Guarini [1] est la réduction des termes t_1, t_2, etc., c'est-à-dire la perfection des relais polarisés. C'est pour cette raison que M. Guarini a fait construire des relais polarisés sensibles jusqu'à 1/20000 d'ampère. La distance de l'armature du relais à son butoir, et par conséquent la durée d'excursion de l'armature, pouvant être ainsi infiniment petite, on réduit les termes t_1 et t'.

» Dans les longues lignes du télégraphe avec fil, il faut attendre à chaque signal l'établissement du régime permanent dans la ligne. Dans le cas qui nous occupe, la ligne n'existe plus, mais elle est remplacée par la bobine d'induction. Celle-ci possède une constante de temps identiquement comme un long fil ; la cause en est seulement différente, c'est la self-induction et non la capacité. Il s'agira donc de voir comment réduire le terme t. Nous nous proposons de revenir sur cette question. »

([1]) M. Guarini-Foresio est l'inventeur de divers dispositifs de télégraphie sans fil. Si nous n'avons pas cru devoir jusqu'ici les faire connaître à nos lecteurs c'est que nous n'avons pas pu arriver à comprendre le fonctionnement des uns et que nous avons relevé dans l'explication du fonctionnement des autres des conceptions fausses sur le mode d'action des ondes hertziennes. La note présentée à la dernière séance de l'Académie paraît d'ailleurs indiquer que l'un au moins de ces dispositifs ne répond pas aux espérances de l'inventeur puisque celui-ci éprouve le besoin d'en signaler lui-même les inconvénients.

Cette note d'ailleurs ne nous apprend pas grand'chose de nouveau sur ce dispositif comme on pourra s'en rendre compte par l'analyse que nous en donnons. J. B.

Sur le siliciure de fer Si Fe² et sur sa présence dans les ferrosiliciums industriels, par **P. Lebeau**. *Comptes rendus*, t. CXXI, p. 583-587.

Dans cette note M. Lebeau décrit des recherches dont il avait déjà indiqué les premiers résultats au récent Congrès de chimie [1] et qui complètent celles qu'il avait déjà faites sur un autre siliciure de fer SiFe [2].

Il a pu se passer du four électrique pour la production du siliciure $SiFe^2$. Il suffit de chauffer au four à vent un mélange de 150 gr de fer et de 300 gr de siliciure de cuivre industriel à 10 p. 100 de silicium. Des traitements à l'acide azotique et à la soude permettent d'isoler le siliciure $SiFe^2$ du culot obtenu.

M. Lebeau a constaté la présence de ce siliciure dans les ferrosiliciums industriels préparés au four électrique et d'une teneur comprise entre 10 et 20 p. 100.

([1]) *L'Écl. Élect.*, t. XXIV, p. 232, 11 août 1900.

([2]) *L'Écl. Élect.*, t. XIX, p. 238, 13 mai 1899.

Le Gérant : C. NAUD.



Tome XXV. | Samedi 27 Octobre 1900. | 7e Année. — N° 43

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

GROUPE ÉLECTROGÈNE DE 825 KILOVOLTS-AMPÈRES DE MM. CARELS FRÈRES ET KOLBEN

Le groupe électrogène Carels-Kolben, l'un des premiers qui ont été mis en service dans la section étrangère est constitué par un moteur à vapeur de MM. Carels frères, de Gand et un alternateur de l'Elektricitäts-Actien-Gesellschaft de Prague-Vysocan (Autriche), anciennement MM. Kolben et Cie. L'ensemble est très élégant de forme comme le montre la photographie de la figure 1.

Les figures 2 et 3 représentent des vues d'ensemble du groupe.

Moteur a vapeur. — La machine à vapeur est du type compound à vitesse accélérée. Sa vitesse normale est de 100 tours par minute, mais pendant la durée de l'Exposition, cette vitesse est réduite à 94 tours pour amener la fréquence de l'alternateur à 50 périodes.

Les diamètres des cylindres sont les suivants :

Diamètre du cylindre à haute pression	660 mm
Diamètre du cylindre à basse pression	1 050 »
La course des pistons est de	1 150 »

En marche à condensation, la puissance normale à la pression de 10 kg : cm² et avec une détente de 13 fois le volume primitif de la vapeur est de 1 000 chevaux. La puissance maxima est de 1 300 chevaux.

Les cylindres à vapeur sont montés en tandem, le grand cylindre étant boulonné au bâti. Ils sont réunis par une entretoise séparée en deux moitiés dans l'axe de la machine afin de faciliter le démontage des couvercles intérieurs des cylindres ainsi que des pistons ; de cette façon la visite de ces derniers est aussi aisée qu'aux machines monocylindriques.

Les cylindres, comme le montrent les figures 4 et 5, sont constitués par une enveloppe et un fourreau indépendant en fonte dure et d'une résistance moyenne de 26 kg par millimètre carré à la traction et de 115 kg par millimètre carré à la compression.

La vapeur parcourt l'enveloppe avant d'agir sur les pistons : ceux-ci sont du type suédois à deux cercles en fonte; la tige commune des pistons est supportée en son milieu par un guide mobile suivant toutes les phases de l'action de la tige et diminuant la charge du poids des pistons sur le bas des cylindres.

Les cylindres portent à leurs extrémités de solides pieds venus de fonte et faisant corps avec eux; ils s'adaptent à des plaques rabotées et scellées dans les massifs, disposition qui leur donne une stabilité absolue.

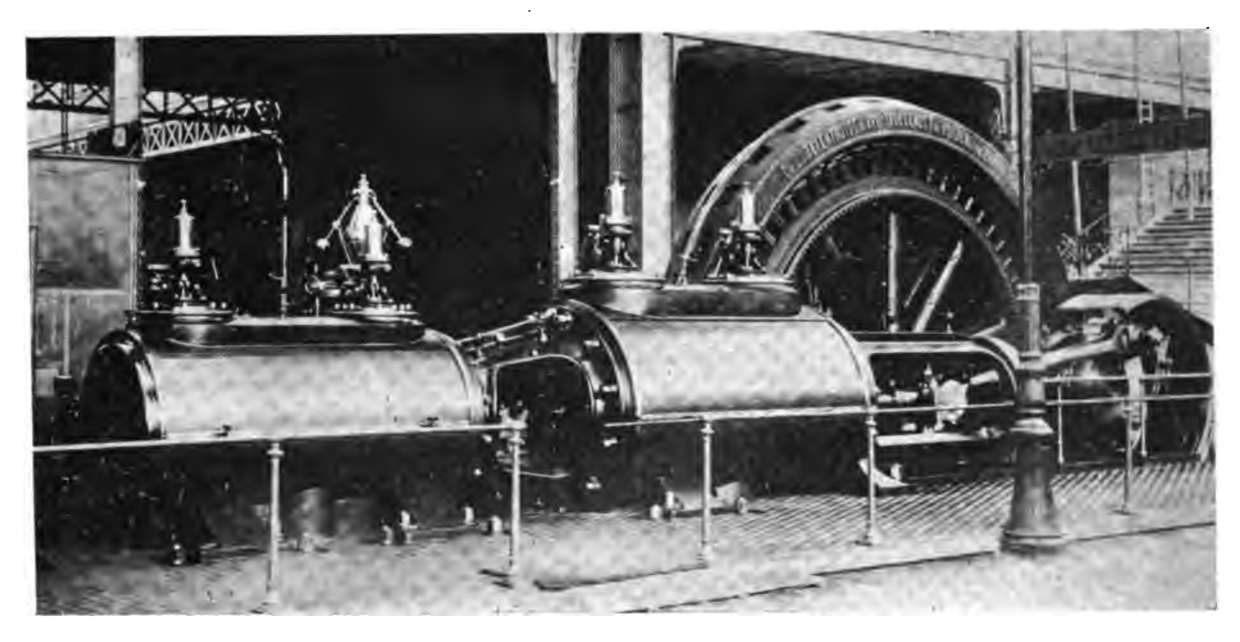


Fig. 1. — Groupe électrogène de 825 kilovolts-ampères de MM. Carels frères de Gand et de l'Elektricitäts-Actien-Gesellschaft de Prague (anciens établissements Kolben et Cie).

Le bâti repose dans toute la longueur sur les massifs. Les paliers de l'arbre moteur sont à graissage automatique et continu pendant la marche de la machine; le graissage des cylindres est assuré par une double pompe à pression forcée, actionnée elle-même par la machine ; son fonctionnement ne cesse donc qu'à l'arrêt de la machine.

Tous les graisseurs des autres organes sont à débit visible et accessible pendant la marche.

La distribution de la vapeur est faite par quatre soupapes équilibrées pour chaque cylindre.

L'admission de la vapeur dans le petit cylindre est variable entre 0 et 75 p. 100 sous l'action d'un régulateur Porter très sensible, permettant de limiter en cas de décharge brusque la différence de vitesse entre la marche en charge et la marche à vide à 3 p. 100 environ après une période de réglage de 10 secondes.

Le déclic (fig. 6) se fait au levier même des soupapes afin de réduire l'inertie de la chute de celle-ci. Le taquet actif A est attelé à la barre de l'excentrique et guidé autour du centre du levier de soupape. En descendant, il rencontre à très faible vitesse le levier B qu'il entraîne jusqu'à ce qu'il ait basculé par la rencontre de la roulette C dont la position est déterminée par le jeu du régulateur. La soupape tombe en ce moment.



Suivant la position de C, on obtient les différents degrés de détente.

L'échappement est commandé par le même excentrique au moyen de deux leviers à mouvement progressif. Au commencement de l'ouverture et à la fin de la fermeture, le mouvement ayant une très faible vitesse, il en résulte une grande douceur dans la marche. L'avance à l'échappement ainsi que la compression sont variables à la main en réglant la tige de commande.

Fig. 2 et 3. — Vue de face et en plan du groupe Carels-Kolben de 825 kilovolts-ampères.

La distribution du grand cylindre représentée par la figure 5, est variable à la main dans certaines limites.

Le même excentrique commande une soupape d'admission et de décharge au moyen de leviers à mouvement progressif. Comme au petit cylindre, la levée et la fermeture des

soupapes se font à une vitesse faible, et aucun choc ne peut se produire dans les organes; ce qui contribue à la bonne conservation des articulations.

Nous avons reproduit, sur les figures 7 et 8, des diagrammes obtenus avec des puissances de 600 et de 1 000 chevaux sur une machine.

Toutes les articulations des organes de la distribution, en acier trempé, sont rectifiées au centième de millimètre et sont exactement interchangeables.

Fig. 4. — Coupe perpendiculaire à l'axe du cylindre à haute pression du moteur Carels frères montrant la distribution par soupape.

Le condenseur horizontal à double effet est placé dans le sous-sol et est commandé par le bouton de la manivelle.

Alternateur. — L'alternateur exposé par l'Elektricitäts-Actien-Gesellschaft de Prague, est identique à ceux déjà installés par cette Société à la station centrale de Prague, lesquels sont actuellement au nombre de cinq, le dernier servant de réserve. On a simplement pour les besoins de l'Exposition, augmenté la fréquence de 48 à 50 périodes en élevant la vitesse angulaire de 90 à 94 tours par minute.

Cette machine est faite pour absorber 1100 chevaux sur l'arbre environ ; elle est donc capable de donner une puissance vraie aux bornes de 750 kilowatts ce qui avec un facteur

Fig. 5. — Coupe perpendiculaire à l'axe du cylindre à basse pression montrant la distribution par soupape.

de puissance de 0,9 correspond à une puissance apparente de 825 kilovolts-ampères. L'alternateur peut du reste être surchargé de 25 p. 100 sans inconvénient.

La tension aux bornes de l'induit est de 3 000 volts, l'enroulement de l'induit est groupé

en étoile, l'intensité du courant par phase est de 160 ampères. Le nombre de pôles sur l'inducteur est de 64.

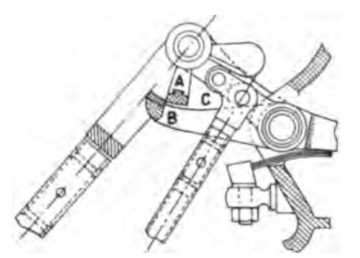


Fig. 6. — Détails de construction du déclic commandant la distribution du petit cylindre à haute pression du moteur de MM. Carels frères.

Cet alternateur, comme ceux de la station centrale de Prague, a été étudié spécialement pour un service combiné de traction, de distribution de force motrice et d'éclairage ; c'est dire que les conditions magnétiques et les enroulements sont déterminés de telle sorte que, pour de fortes variations de charge, il n'y ait que de faibles variations de tension.

Les dynamos ont donc été établies avec une induction élevée dans l'air, une saturation suffisante dans le fer et une faible réaction d'induit.

Les figures 9 et 10 montrent des vues d'ensemble avec coupe de l'alternateur Kolben.

Induit. — L'induit (fig. 11 et 12) est constitué par une caisse cloisonnée en fonte coupée en quatre parties par un plan horizontal, et par un plan vertical perpendiculaire à l'axe.

Ces quatre parties sont boulonnées ensemble et reposent sur deux bancs le long desquels elles peuvent coulisser pour permettre le déplacement de l'induit en dehors de l'inducteur de façon à faciliter le remplacement d'une bobine de l'induit.

Les tôles induites sont maintenues entre deux cloisons en fonte de la carcasse et sont serrées par des boulons traversant également ces cloisons.

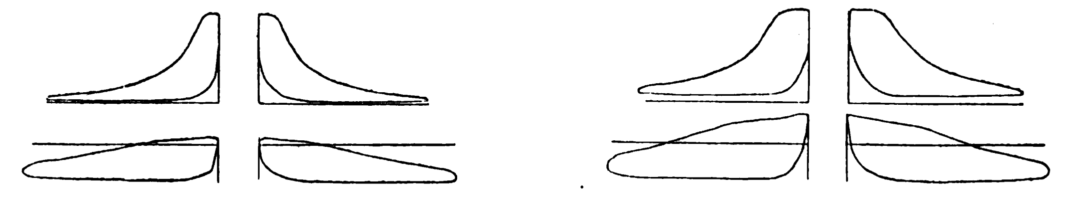


Fig. 7 et 8. — Diagrammes du moteur Carels à demi et à pleine charge.

L'épaisseur totale de la pile de tôles induite en une seule partie est de 40 centimètres, sa hauteur radiale est de 26 cm environ.

L'enroulement induit est réparti dans 192 rainures à raison d'une seule encoche par pôle et par phase.

Les encoches sont complètement ouvertes de façon à permettre l'enroulement des bobines sur gabarit ; celles-ci sont ensuite placées dans des caniveaux en micanite introduits préalablement dans les encoches. Les bobines sont maintenues en place, une fois posées, par des baguettes en fibres s'engageant sur de légers rebords ménagés sur le côté des dents.

Le nombre total des bobines est de 96, soit 32 par phase et chacune d'elle comporte 6 spires de fil. Le diamètre d'alésage de l'induit est de 5,56 cm et le diamètre extérieur de 6,80 m. La largeur totale de l'induit est de 824 mm.

Le poids de l'induit atteint 27 000 kg.

Des ouvertures nombreuses sur la surface de la carcasse et dans le cloisonnement intérieur assurent une bonne ventilation de l'induit.

Inducteur. — L'inducteur se compose d'une jante à section en forme d'U qu'une série de 8 bras doubles réunit au moyeu. La couronne inductrice a été fondue en deux parties assemblées au moyeu et à la jante par des boulons ; en outre, quatre frettes annulaires

Fig. 9 et 10. — Vue de face et de bout d'un alternateur Kolben de la station centrale de Prague.

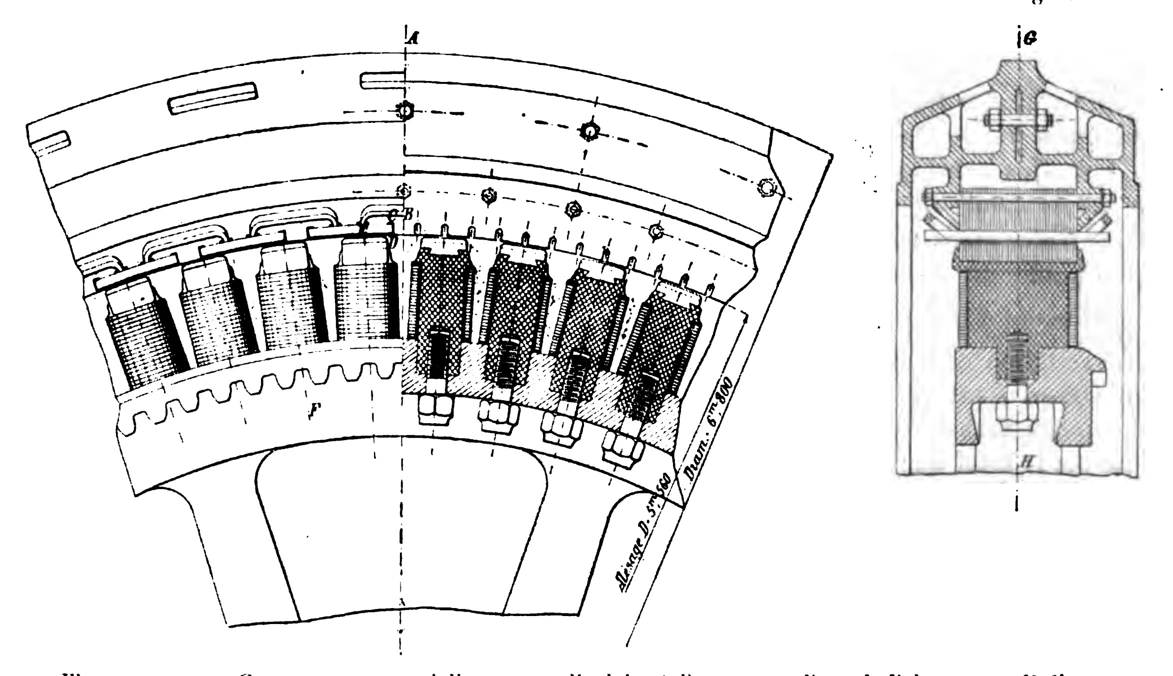


Fig. 11 et 12. — Coupe et vues partielles perpendiculaire à l'axe et par l'axe de l'alternateur Kolben.

***

ont été introduites à chaud dans des logements pratiquées sur les faces du volant à l'endroit des joints des deux morceaux de la couronne.

Les pôles inducteurs sont en acier coulé, ils ont une section ovale et sont encastrés par un prolongement cylindrique dans la couronne de fonte du volant afin d'augmenter la section de passage du flux de la fonte à l'acier proportionnellement aux inductions admises dans ces deux parties. Les noyaux sont retenus à la jante par des boulons la traversant complètement.

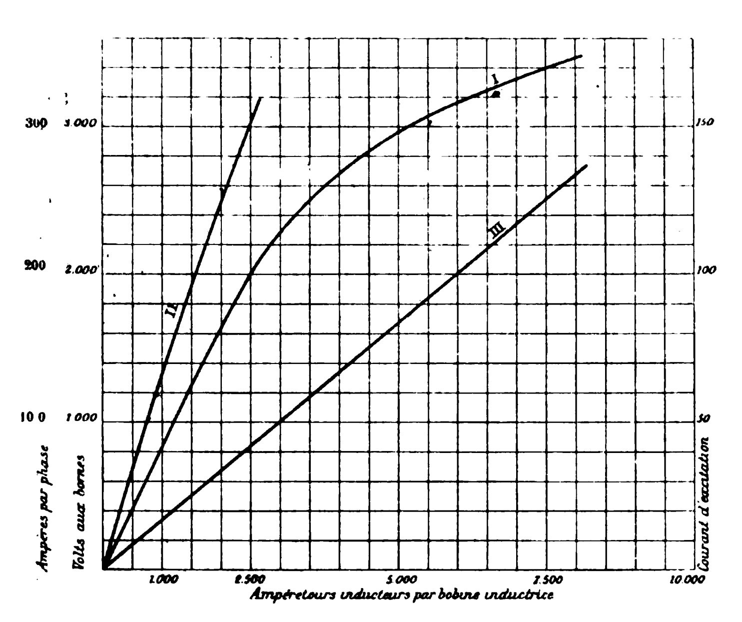


Fig. 13. — Caractéristique de l'alternateur Kolben (1).

I. Caractéristique à vide.
II. Caractéristique en court-circuit.
III. Droite de correspondance des ampéretours par bobine inductive au courant d'excitation.

Les épanouissements polaires sont constitués par des tôles terminées en queue d'aronde et prises dans une projection polaire du noyau au moment de la coulée. L'emploi des tôles est ici rendu nécessaire par l'induction élevée dans l'entrefer et par l'emploi dans l'induit de dents complètement ouvertes pour la mise en place des bobines après bobinage sur gabarit. La production des courants de Foucault dans les pièces polaires est ainsi évitée sans l'emploi de liaisons mécaniques compliquées.

Les dimensions des surfaces polaires sont de $40 \times 16,5 = 660$ cm^2.

L'enroulement inducteur est fait avec un ruban de cuivre de 4 mm $\times$ 25 mm $= 100$ mm^2 placé sur champ.

Les 60 spires formées autour de chaque noyau sont isolées entre elles avec du papier ; elles sont soumises à une pression hydraulique très élevée, puis placées sur les noyaux ovales.

Toutes les bobines inductrices sont montées en série et la résistance du circuit inducteur est de 0.128 ohm.

L'entrefer étant de 5 mm le diamètre extérieur du volant est de 5,55.

Le poids du volant est de 24 700 kg, avec ce poids il assure à la vitesse de 94 tours un coefficient d'irrégularité de $\frac{1}{200}$.

L'excitation de l'alternateur est fournie par une petite excitatrice calée sur l'arbre et en porte à faux, c'est une dynamo à 6 pôles capable de fournir sous une tension de 100 à 120 volts un courant de 80 à 100 ampères.

Le poids total de l'alternateur sans l'excitatrice est de 63 tonnes.

Tableau de distribution. — Des bornes de l'alternateur les courants se rendent au tableau de distribution composé d'un panneau en marbre formant l'une des parois d'une chambre contenant les rhéostats de réglage et l'interrupteur à haute tension.

(1) Par suite d'une erreur dans la mise en pages du dernier numéro, cette figure a déjà été publiée comme se rapportant à l'alternateur du groupe Dujardin-Schneider ; nous donnerons dans le prochain numéro les caractéristiques exactes de ce dernier alternateur.

La tension est indiquée par un voltmètre connecté sur le secondaire d'un transformateur de mesure et le courant est mesuré sur chaque phase par un ampèremètre.

Un ampèremètre et un voltmètre sont placés dans le circuit d'excitation.

Le réglage de la tension aux bornes se fait en agissant sur le rhéostat placé dans le circuit d'excitation de l'excitatrice.

Résultats d'essais. — Les courbes de la figure 13 représentent la caractéristique à vide à la vitesse de 94 tours et la caractérisque en court-circuit. La première montre bien que l'induction au régime normal est élevée dans l'inducteur, le point de la courbe correspondant à à la tension normale à vide (86 ampères) étant situé au-dessus du genou de la caractéristique.

La caractéristique en court-circuit indique que l'intensité du courant est obtenue en court-circuit avec une excitation correspondant au tiers environ de la tension normale.

A la station centrale de Prague où les alternateurs Kolben fonctionnent en parallèle, on dispose en série avec l'induit des bobines de self-induction dont le but est, en cas d'une concordance imparfaite des phases lors de la mise en parallèle, d'empêcher la production d'un courant de circulation un peu fort. Ces bobines servent en outre, en temps ordinaire, à diminuer les phénomènes de résonnance et le mouvement pendulaire des génératrices qui peut résulter des irrégularités de marche des machines à vapeur ainsi que le mouvement pendulaire des grands moteurs synchrones des sous-stations, particulièrement dans la marche à vide. Leur suppression amène en effet, surtout dans la marche à vide des moteurs, une oscillation de 2 p. 100 environ à chaque coup de piston et une oscillation pendulaire de 3 p. 100.

La perte totale en watts dans chaque groupe de bobines est de 800 watts en pleine charge soit 0,1 p. 100 de la puissance de chaque alternateur et la perte de tension de 3,5 p. 100 soit 60 volts par bobine et par phase.

Les bobines de réaction sont à entrefer réglable.

ACCUMULATEURS FULMEN. ACCUMULATEURS BLOT. ACCUMULATEURS BLOT-FULMEN.

Les accumulateurs qu'exposent les maisons Fulmen et Blot ont été déjà décrits dans ce journal, récemment encore à propos du concours d'accumulateurs organisé par l'Automobile-Club de France (1). Aucune modification essentielle n'ayant été apportée depuis cette époque aux types de plaques de ces constructeurs nous ne reviendrons pas ici sur leur description, et nous donnerons seulement les principales constantes des éléments d'après les plus récentes données de ces maisons.

Accumulateurs Fulmen. — Les accumulateurs Fulmen, qui sont tous montés avec le même type de positive et le même type de négative, sont répartis dans trois séries différentes. La série B se rapporte aux éléments pour voitures électriques ; les séries A et T conviennent aux petites applications : éclairage de voitures, chirurgie, laboratoire, etc.

Nous avons résumé dans le tableau suivant les constantes d'un type de chacune de ces séries.

Ce sont les éléments type B qui, à égalité de poids et d'encombrement, donnent la plus grande capacité.

Accumulateurs Blot. — Dans ces éléments, les positives et les négatives sont semblables, et les séries A, B et D qui se rapportent aux batteries à poste fixe ne diffèrent que par les

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXII, p. 171-172, 3 février.



	SÉRIE B	SÉRIE A	SÉRIE T
Type	B 27	A 13	T 13
Nombre de plaques	13 + et 14 —	6 + et 7 —	6 + et 7 —
Dimensions extérieures du bac en millimètres. — longueur	226	110	110
— largeur	113	105	85
— hauteur	250	150	165
Hauteur totale d'encombrement, en millimètres	285	200	220
Poids total d'un élément complet, en kg	16,7	4,4	4,2
Capacités aux différents régimes. — 20 heures		66 amp.-h. à 3,3 amp.	60 amp.-h. à 3 amp.
— 8 »	229 amp.-h. à 28,6 amp.	54 amp.-h. à 6,7 amp.	51 amp.-h. à 6,4 amp.
— 4 »	187 amp.-h. à 46,7 amp.	45 amp.-h. à 11,2 amp.	42 amp.-h. à 10,5 amp.
— 2 »	174 amp.-h. à 87 amp.		

dimensions des plaques et la nature du bac. Celui-ci est en verre pour les petits éléments et en bois doublé de plomb pour les gros.

	SÉRIE A	SÉRIE B	SÉRIE C	SÉRIE D
Numéro de l'élément	4	8	18	25
Nombre et type de plaques	9 plaques 1/2 U	9 plaques U	21 plaques 2 U	17 plaques 5 U
Nature du bac	verre	verre	bois plombé.	bois plombé
Dimensions d'encombrement, en millimètres. — longueur	280	280	725	615
— largeur	220	350	570	600
— hauteur	440	420	530	1200
Poids d'un élément en kilogrammes. — plaques	15,3	30,6	128,1	306
— acide à 26° B	14,9	26,3	130	332
— total	39,2	69,6	322,2	718
Capacités aux différents régimes. — 10 heures	112 a.-h. à 11,2 a.	224 a.-h. à 22,4 a.	1120 a.-h. à 112 a.	2240 a.-h. à 224 a.
— 8 »	109 » à 13,6 »	218 » à 27,2 »	1090 » à 136 »	2180 » à 272 »
— 5 »	100 » à 20 »	200 » à 40 »	1000 » à 200 »	2000 » à 400 »
— 3 »	84 » à 28 »	168 » à 56 »	840 » à 280 »	1680 » à 560 »
— 1 »	45 » à 45 »	90 » à 90 »	450 » à 450 »	900 » à 900 »
— 0,5 »	28 » à 56 »	56 » à 112 »	280 » à 560 »	560 » « 1120 »
Intensité de charge, en ampères.	12,3	24,6	123,2	246

Dans les séries A et B, les plaques sont suspendues à l'aide de talons par deux petites dalles de verre qui sont portées par deux cadres supports en plomb reposant sur les bords du bac.

Dans les séries C et D les plaques s'appuient par des talons sur des dalles de verre légèrement inclinées et qui sont maintenues à leur partie inférieure dans la rainure de tasseaux en plomb posés dans le fond du bac.

Accumulateurs Blot-Fulmen. — On sait que ce système mixte a été créé en vue de la traction dans les cas où une capacité inférieure à celle des accumulateurs Fulmen suffit; mais où la durée joue un rôle important et ne serait pas suffisante avec ces derniers éléments.

Ces accumulateurs sont composés de plaques positives type Blot et de plaques négatives type Fulmen. On trouvera dans le tableau suivant les principales caractéristiques d'un élément de cette série.

Type	C. 15
Nombre de plaques	7 + et 8 —
Dimensions extérieures du bac, en millimètres. — longueur	171
— largeur	137
— hauteur	280



Hauteur d'encombrement, en millimètres			320
Poids total d'un élément complet, en kg			17,7
Capacités aux différents régimes.	8 heures	168 amp.-h.	à 21 amp.
	4 »	154 »	à 38,5 amp.
	2 »	126 »	à 63 amp.

J. Reyval.

APPLICATIONS MÉCANIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ (1)

Les innombrables applications de l'air comprimé exigent parfois l'emploi de *compresseurs portatifs*, pour desservir, par exemple, quelques machines-outils mobiles : perceuses, riveuses, frappeurs, etc., et il est tout naturel de commander ces compresseurs par des dynamos aussi transportables qu'eux-mêmes. L'appareil représenté par la figure 1 et construit par la Standard Air Brake C°, 168 Broadway, New-York (2), peut être considéré comme l'un des meilleurs de ce genre.

Sa puissance est d'environ 2 chevaux : il est compound, à deux cylindres de 160 et 92 mm sur 90 de course, accouplés sur manivelles à 180°, avec le gros piston très lourd pour équilibrer la poussée de l'air sur le cylindre de haute pression : solution discutable en raison des forces d'inertie introduites de ce fait. Le système compound sans refroidisseur intermédiaire, inutile avec une aussi petite machine ne comprimant qu'à 4 kg, régularise la marche et réduit les espaces nuisibles. Les soupapes très simples sont faciles à visiter et à remplacer, et l'air arrive au grand cylindre par un large filtre arrêtant les poussières.

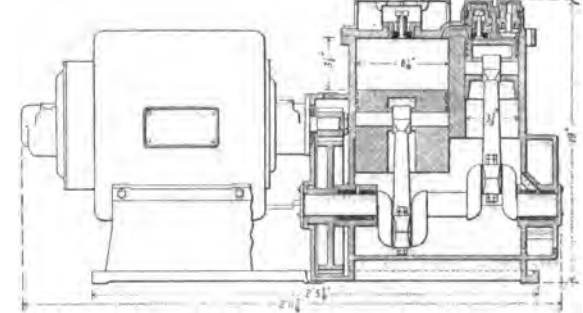


Fig. 1. — Compresseur de la Standard Air Brake C°.

La dynamo en série, construite par la Storey Motor Tool C°, de Trenton, est (fig. 2 à 5) à inducteur cylindrique, avec enroulement FF et pôles conséquents EE et CC, en deux pièces faciles à enlever, ainsi que FF. Les paliers, à graissage automatique, sont enfermés dans des boîtes, ainsi que les balais séparés de leur palier par un anneau étanche et accessibles par des regards. Les enroulements FF s'enfilent sur leurs pôles à l'état tout préparés d'avance. L'armature, du type cuirassé, est à noyau lamellaire A, en tôles d'acier étampées, serrées par la bobine B : son enroulement est aussi posé tout préparé d'une seule pièce. Les balais écartés de 90° sont en charbon ; toutes les pièces de cette dynamo très simple peuvent se faire sur le tour.

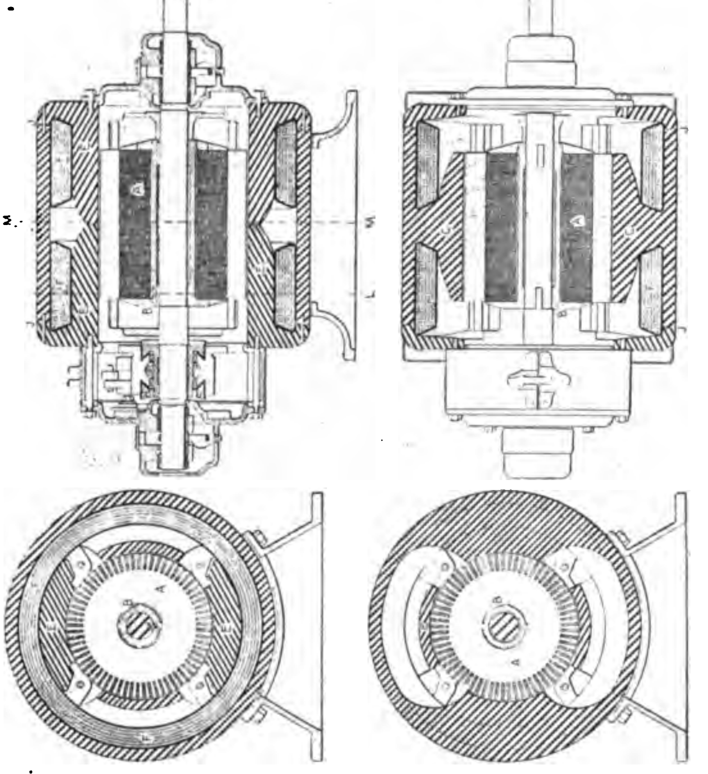
Le commutateur automatique est commandé (fig. 6) par un piston chargé par un gros ressort à gauche de la figure 6, et poussé par l'air comprimé, et ce même air actionne, par les pistons de droite, un rhéostat qui enlève ses résistances à mesure que la pression de l'air augmente dans le réservoir.

Le fonctionnement du régulateur de pression de Christensen est facile à suivre sur les schémas (fig. 7 et 8) et les principaux organes sont aisément reconnaissables en exécution sur les figures 9 à 13.

(1) *L'Éclairage Électrique*, 3 mars 1900, p. 328.

(2) *Engineering News*, 21 déc. 1899.

Le réservoir à air comprimé communique par O (fig. 11) avec un tube de manomètre Bourdon N, qui par le renvoi amplificateur *n* commande une aiguille P_1, entre deux contacts extrêmes R et S correspondant aux pressions minima et maxima prévues.



Quand la pression est maxima, P_1 fait (fig. 7) contact avec S ; l'électro A, attirant son armature D E *e* de la position figure 8 à celle figure 7, ainsi que l'isolant K, fait, par P j_1 *j* (fig. 11 et 7) basculer les contacts G G_1 G_2 G_3 de manière à les retirer des bornes

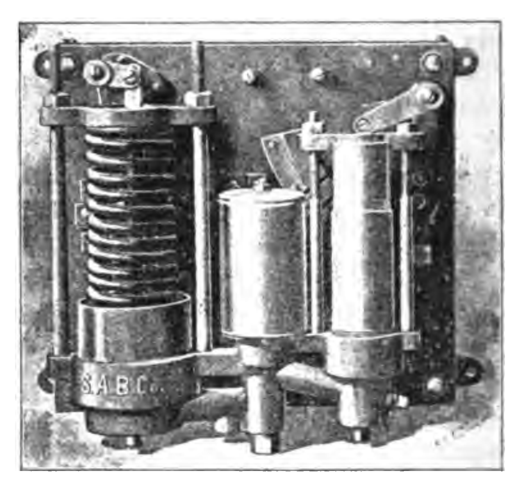


Fig. 2 à 5. — Dynamo de la Storey Motor Tool C° pour la commande des machines-outils.

Fig. 6. — Commutateur de la Storey Motor Tool C°.

F F_1 F_2 F_3 et à rompre le circuit du moteur, en même temps que rétablir celui des contacts U U_1.

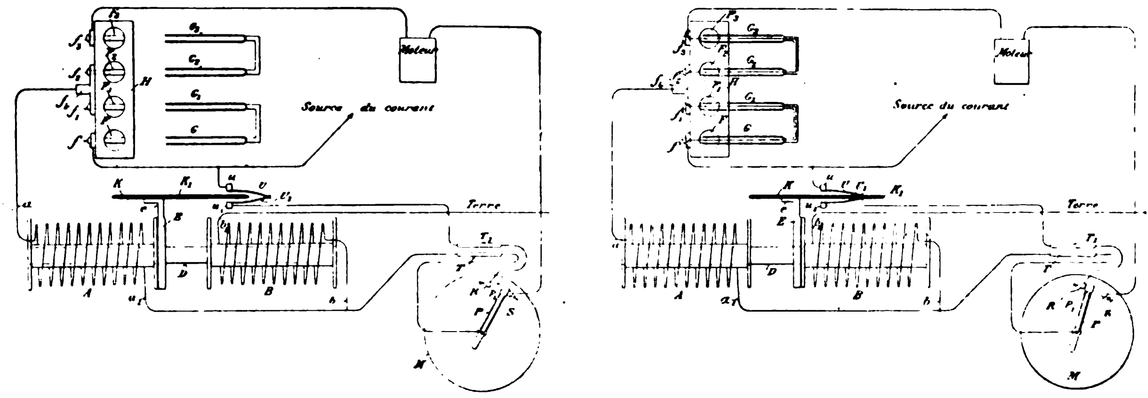


Fig. 7 et 8. — Régulateur de pression Christensen (1900).

Quand la pression tombe à sa valeur minima, P_1 fait (fig. 8) contact en R, ce qui ferme sur B le circuit dérivé U U_1 et attire dans la position (fig. 8 et 11) l'armature E, rabattant ainsi

par *e j* les contacts G sur les contacts F, refermant le circuit du moteur et rompant U U_1. Dans cette position, une partie du courant principal est dérivée par f_1 aux deux électros A et B, mais est insuffisante pour faire attirer E par A. Au retour de P_1 en S, B est remis en court-circuit de sorte que A ramène immédiatement E dans la position (fig. 11), et aussitôt que L (fig. 12) sépare G de H les isolants K s'interposent de manière à éviter les étincelles. Les plombs fusibles T T_1 protègent d'autre part le manomètre M.

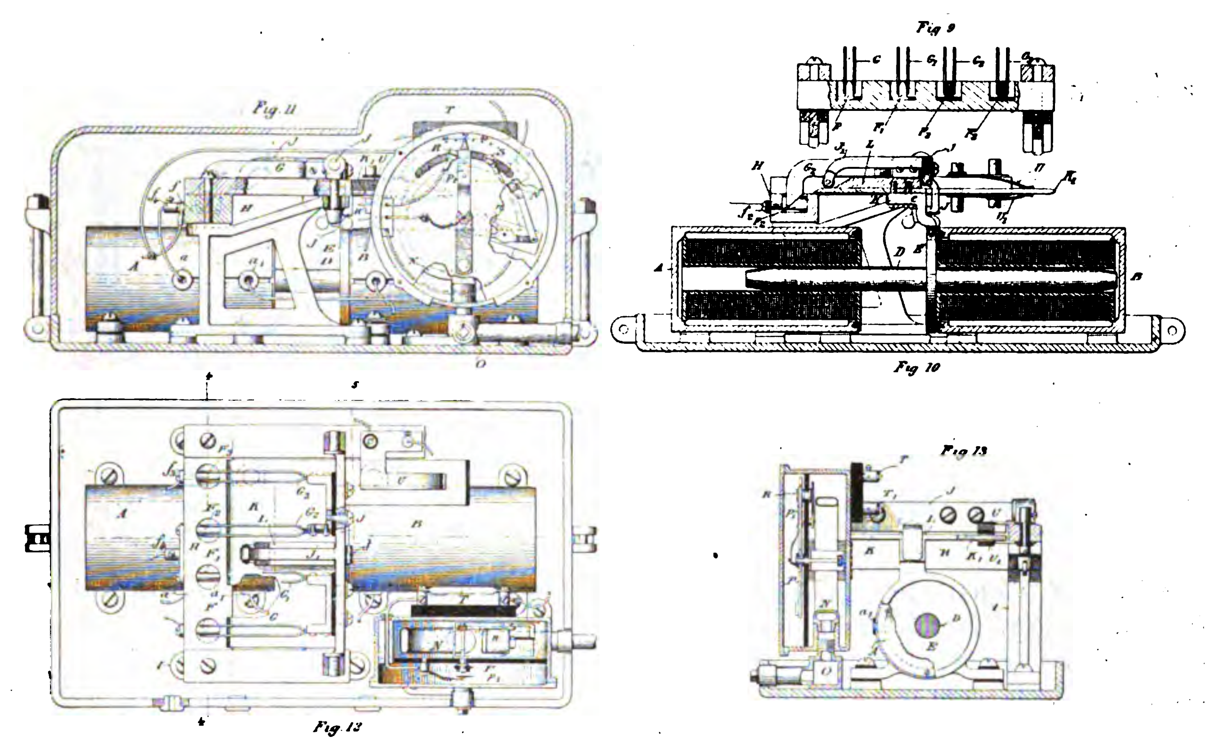


Fig. 9 à 13. — Fig. 9 et 10. Régulateur Christensen. Coupe 5-5 (fig. 12) et coupe longitudinale. — Fig. 11 et 12. Régulateur Christensen. Élévation et plan. — Fig. 13. Régulateur Christensen. Coupe 5-5.

On a souvent proposé de commander les distributions des machines à vapeur par l'électricité directement, ou mieux par l'intermédiaire de relais à vapeur : ces propositions n'ont pas eu grand succès car elles n'introduisènt que des simplifications apparentes en place de mécanismes d'une action absolument certaine et perfectionnés par une longue pratique. L'électricité peut au contraire intervenir très utilement pour le réglage des moteurs, principalement de ceux qui commandent des dynamos dont on fait ainsi agir le courant même sur le réglage, et aussi comme agent de sûreté pour l'arrêt du moteur en cas d'accident. Nous en avons décrit de nombreux exemples [1]. L'arrêt de M. J. Kaye représenté par les figures 14-19 est remarquable par sa simplicité et la rapidité de son action. Son organe essentiel est, en effet, un simple déclenchement I_1 (fig. 14) actionné par un électro-aimant J (fig. 17) : lorsque cet électro attire son armature I, elle lâche le bras H calé sur l'axe F de l'obturateur E D_1, lequel, rappelé par le ressort G, ferme immédiatement la prise de vapeur B. Quant au circuit de J, on peut le fermer à distance par un

[1] *Régulateurs* de Goolden Ravenshaw, 20 avril 1895, p. 107. Libbey, 16 mai 1896, p. 197. Fslk. et Elles Northey, 5 mars 1898, p. 415 ; Replogle, 17 septembre 1898, p. 501 ; Arvet Monarch., 8 juillet 1898, 48, 22 juillet 1899, 85.

bouton quelconque L — c'est le principal avantage de ces arrêts électriques — ou en P O_1 par les boules R d'un petit régulateur spécial quand la machine va trop vite, ou enfin par

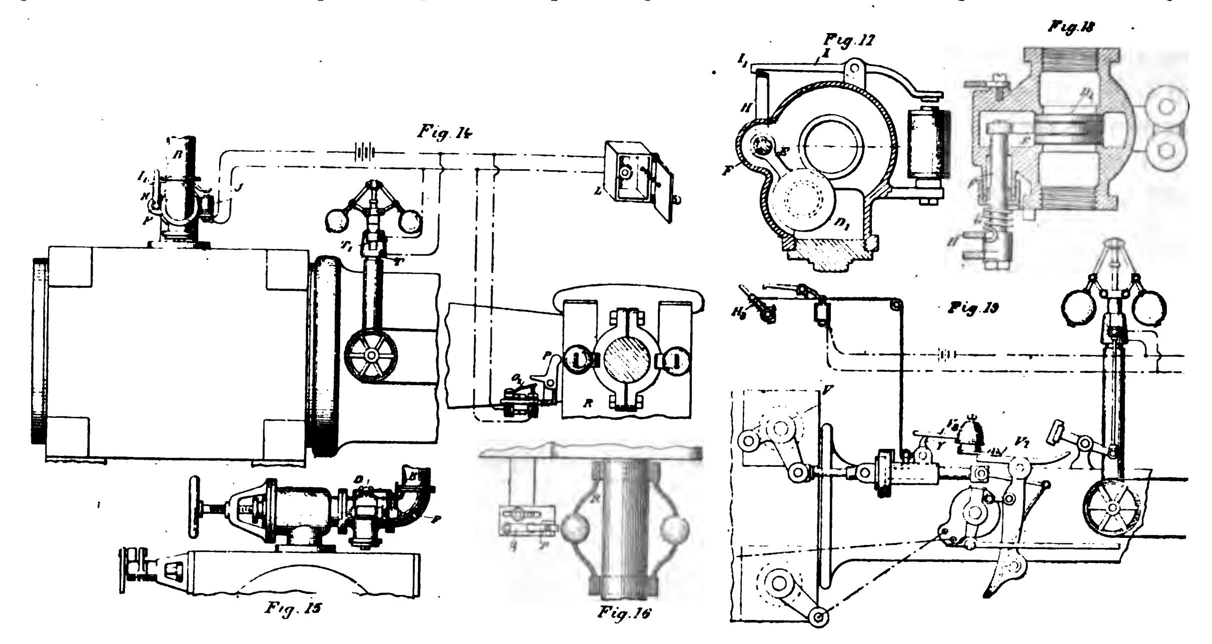


Fig. 14 à 16. — Arrêt Kaye (1900). Ensemble, détail.

Fig. 17 à 19. — Arrêt Kaye. Détail du déclanchement et application à une Corliss.

le contact T_1 T quand le régulateur principal s'arrête par accident. Enfin le bras H peut être (fig. 14, 17 et 18) dans le cas d'une Corliss, relié par une corde, non pas à un obturateur spécial, mais à une came Y (fig. 19) qu'il soulève en cas d'accident, comme sous la figure, de manière à déclencher par V_8 le déclic V_7 et couper ainsi l'admission V. Dans l'arrêt VALENTINE (fig. 20) c'est aussi par leur attraction sur leurs armatures *g* que les électros *h h* relèvent, comme en pointillés (fig. 21 et 22) le déclic *c* de sa butée *f*.

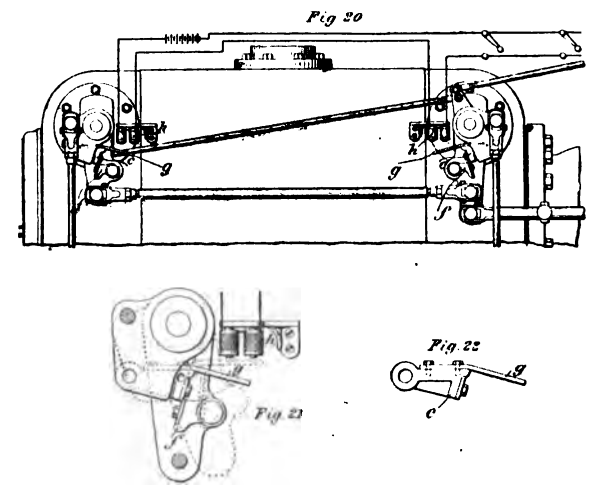


Fig. 20 à 22. — Arrêt Valentine (1900).

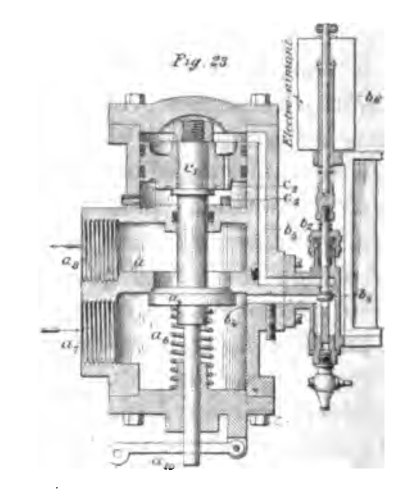


Fig. 23. — Manœuvre de valve Batchelor (1900).

Dans le relais de BATCHELOR (fig. 23), dès que l'électro b_6 ouvre la petite soupape b_3, le fluide sous pression passe par a_7, b_4, b_3, b_5 sur le piston C_1 qui ouvre la grande soupape a_4

à l'admission a_8. Quand b_3 se referme par son ressort b_2, le ressort a_6 referme a_4, qui reste ensuite fermé, ainsi que b_3, par la pression même de a_7, et quand le piston C_1 se lève ainsi, le petit canal d'équilibre c_3 quittant son siège c_5 fait communiquer le haut et le bas de B avec l'atmosphère C_4. Un levier a_{10} permet de manœuvrer a_4 à la main.

Nos lecteurs savent avec quelle facilité l'électricité s'applique à la commande à distance des *gouvernails* sur les navires ; le système de M. Harfield, représenté schématiquement

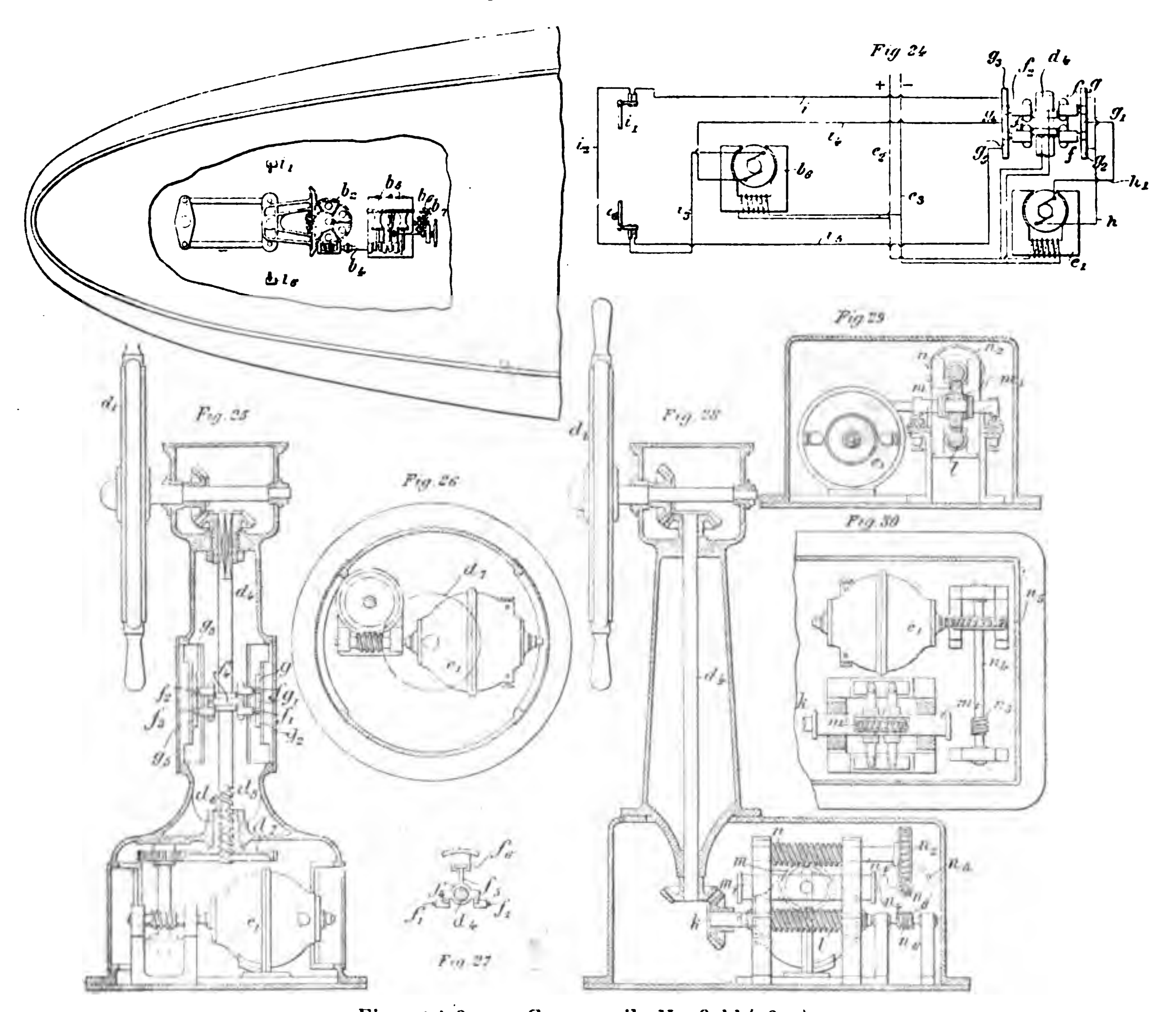


Fig. 24 à 30. — Gouvernails Harfield (1899).

par les figures 24-27, en est un nouvel exemple. Dans ce système, l'opérateur est une dynamo b_6 (fig. 24) qui, par b_7, commande la distribution du moteur b_5 du train de timonerie b_4b_2 ; le transmetteur est un système de contacts f_1 (fig. 25) commandé, en un point quelconque du navire, par la roue de timonerie d_1. L'arbre d_4 de cette roue porte (fig. 25 et 27) quatre contacts en deux paires ff_1 et f_2f_3, correspondantes aux touches gg_1g_2 et $g_3g_4g_5$, reliées : g et g_2 par h à l'un des pôles de la dynamo e_1, g_1 à l'autre pôle par h_1, g_3 par $ii_1i_2i_3$ à l'un des pôles de b_6, g_4 par i_4 à l'autre pôle et g_5 par i_5i_6 avec i_2 et i_3.

Au repos les contacts f et g occupent les positions (fig. 25), il ne passe pas de courant dans la dynamo e_1. Si l'on tourne d_1 de manière que d_4 descende avec f_4 guidé en f_6 (fig. 27) par la prise de son filet d_5 dans l'écrou d_6 du pignon d_7, ff_1 vient au contact de g_1g_2, et le

courant passe en e_1 par $e_2 f_1 g_2 h e_1 h_1 g_1$; la dynamo e_1 se met alors à tourner, et avec elle d_7, de

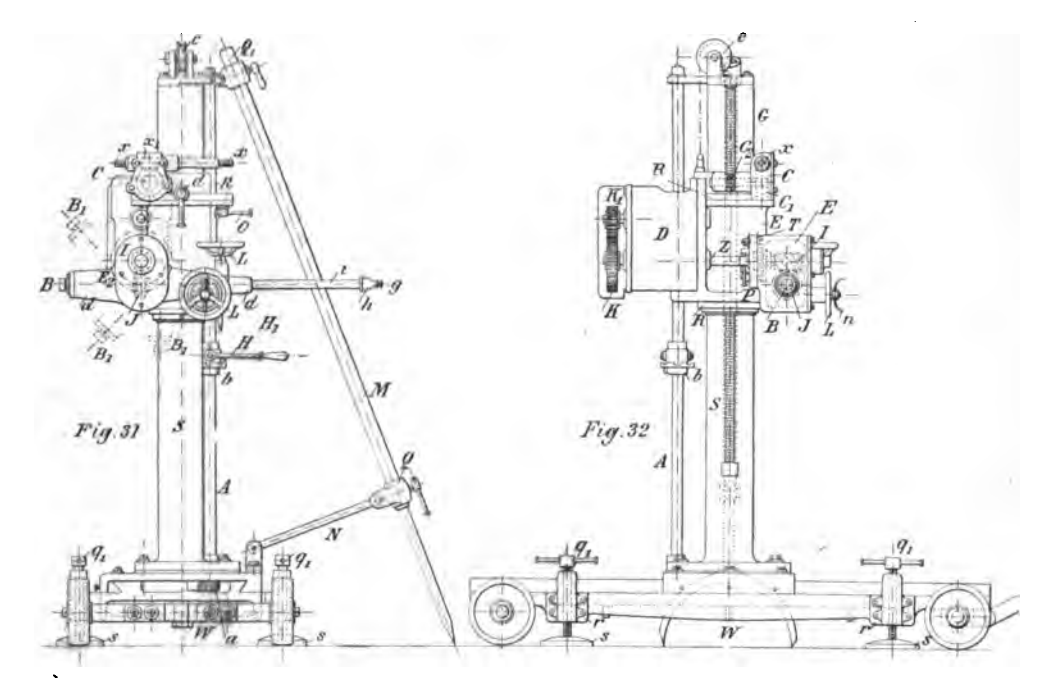


Fig. 31 et 32. — Perceuse portative Martin Hohn (1897).

manière qu'il faut constamment tourner d_1 pour empêcher d_7 de ramener ainsi f_1 à sa position de repos.

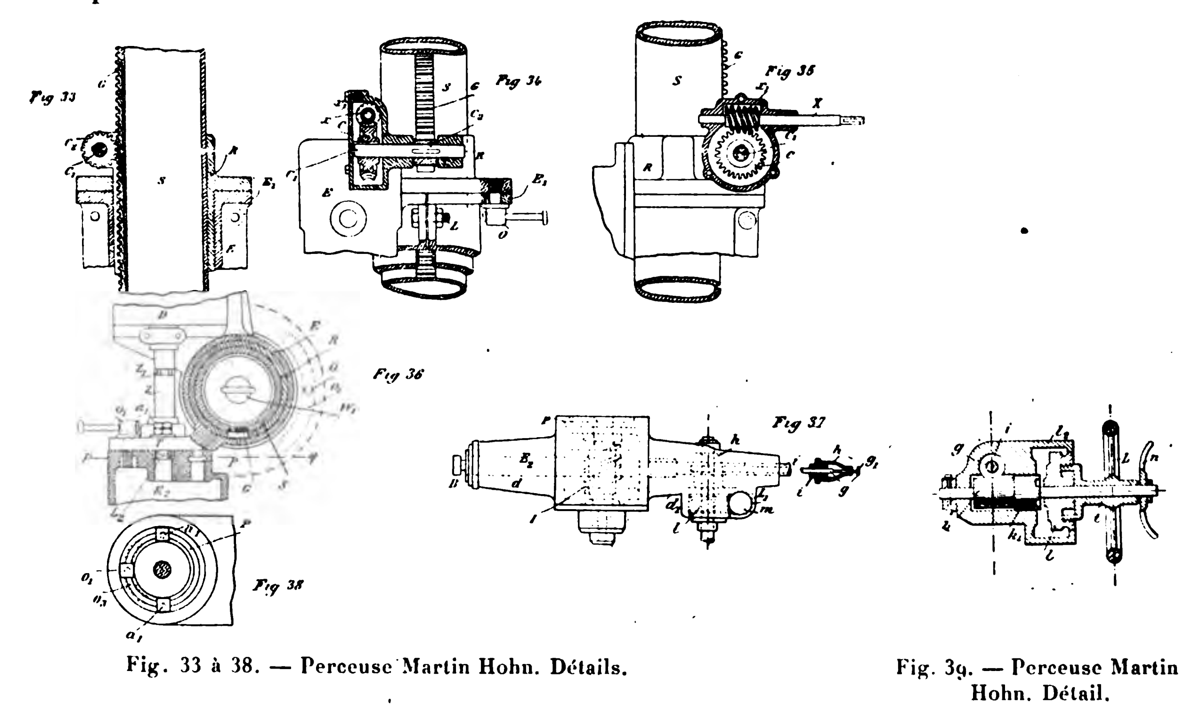


Fig. 33 à 38. — Perceuse Martin Hohn. Détails.

Fig. 39. — Perceuse Martin Hohn. Détail.

En même temps que ff_1 ferme $g_1 g_2$, f_2 et f_3 ferment g_4 et g_5, de sorte que le courant passe

par $e_2 f_3 g_5 i_3 g_4 f_2 e_3$ à la dynamo b_6, qui met en marche le moteur b_5 et le gouvernail lequel suit aussi exactement le mouvement de la roue d_1 que par un servo-moteur ordinaire.

Dans le type (fig. 28-30), d_4 est relié à la dynamo e_1 par le train $klmnn_2n_3n_4n_5n_6$, avec pignon hélicoïdal m, en prise avec n et l et monté sur la barre m_1 des quatre contacts.

Quand on tourne d_1, il fait d'abord rouler m sur n dans un sens ou dans l'autre, avec ses contacts, que la rotation de e_1 ramène ensuite en faisant, par n, rouler m sur l, comme précédemment l'écrou d_7.

Nous n'avons pas à insister ici, de nouveau, sur les avantages de toutes sortes que présente l'application, aussi directe que possible, de l'électricité à la *conduite des machines-outils*, principalement des machines portatives : on sait que ce mode d'actionnement des machines-outils se répand de plus en plus, au point de devenir bientôt presque universel, nous nous bornerons à en présenter deux nouveaux exemples intéressants.

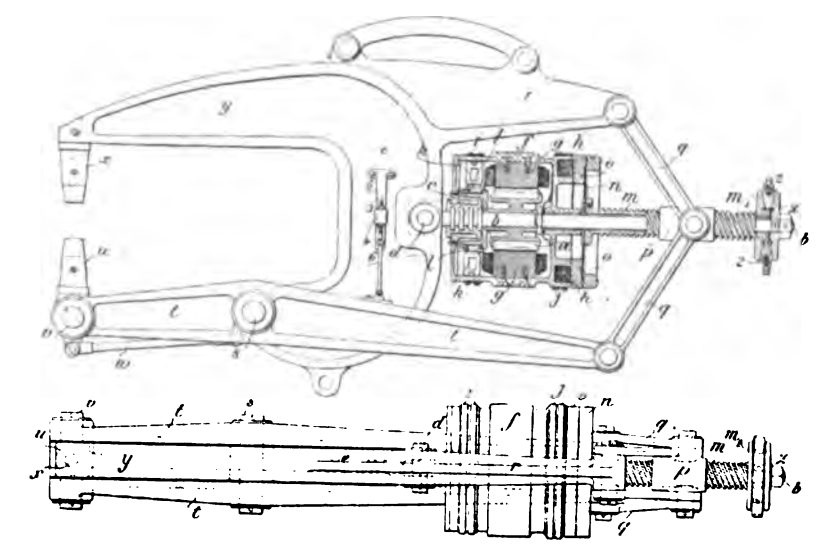


Fig. 40 et 41. — Riveuse Kodolitsch.

La perceuse portative de M. Martin Hohn a (fig. 31 et 32) sa dynamo D portée par un manchon E (fig. 33 et 34) ajustable par une vis O, dans la coulisse O_1, du châssis R, que que l'on peut faire monter ou descendre sur la colonne S, par le train xx_1 cc_1 c_2 et la crémaillère G.

Cette dynamo commande fig. 32) par KK_1 et embrayage Z_1 (fig. 36), l'arbre Z qui mène par la vis sans fin I (fig. 32) l'arbre porte-forêt B, à paliers d et d_1 sur un manchon E_2 fixé au bras T de E par des boulons a_1, à coulisse P_1 permettant d'incliner B comme en B_1B_1 (fig. 31). L'avancement du foret se fait par une manette qui commande l'arbre creux i, en prolongement de B, par sa crémaillère et le train hélicoïdal $mld_1'k$ (fig. 37), embrayable en k_1 par l (fig. 39) ; le rappel de B se fait rapidement par nk, après avoir, en retirant à droite la manette L, débrayé l_2 de k_1.

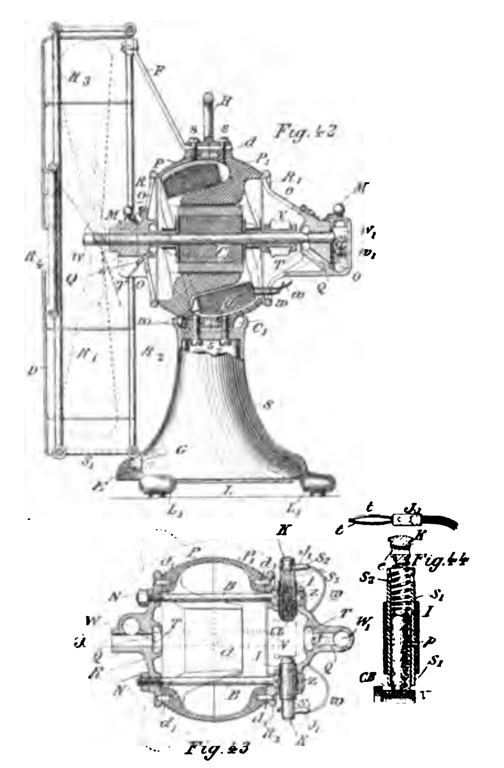
L'avancement de la colonne S sur son chariot W s'opère par le cliquet HH_1b dont l'arbre A porte un pignon a, en prise avec la crémaillère de W. Ce chariot peut se fixer sur sa voie par des vérins q_1 et s, et la colonne S s'épauler par un étançon MNQ.

La riveuse électrique de Kodolitsch, représentée par les figures 40 et 41, est commandée par l'inducteur g du dynamoteur f, tournant avec butée c, autour de l'armature fixe a; le courant arrive à ce dynamoteur par les anneaux i et les balais kl. L'enveloppe f entraîne, monté fou sur l'arbre b, un embrayage électro-magnétique h, à prise de courant j et plateau o, fixé par un diaphragme élastique n à la longue vis à pas très incliné m. Cette vis prend, par le roulement à galets m_1zz, sa butée sur l'axe b, articulé en c au châssis e de la riveuse et fait écrou en p dans le genou q, articulé d'une part au bras fixe ry, de la riveuse et, de l'autre, au bras mobile tt, pivoté en s et portant le riveur u, guidé en ligne droite par le parallélogramme wv.

Pour poser un rivet passé entre x et u, on lance la dynamo ; puis une fois sa vitese acquise, on ferme le circuit de l'embrayage h qui, entraînant m, frappe le rivet, puis se débraye automatiquement dès que le contact 4, réglable par 5 sur la touche 6, rompt son circuit en dépassant le contact 3. L'élasticité de la riveuse et des bras t et y suffit, aussitôt après l'arrêt, pour ramener, grâce à la grande inclinaison de m, le bras t à sa position primitive, prêt à frapper un nouveau rivet.

Le principe des petits *ventilateurs électriques*, d'un usage si fréquent aujourd'hui, est des plus simples, mais leurs détails de construction doivent être soigneusement étudiés, pour en faciliter le montage et l'entretien ; à cet égard, les ventilateurs de Lundell, construits par la compagnie Sprague, de Boston, peuvent être cités parmi les mieux établis : les figures 42 à 45 en représentent l'un des derniers types.

L'inducteur (fig. 42 et 43) est en deux pièces



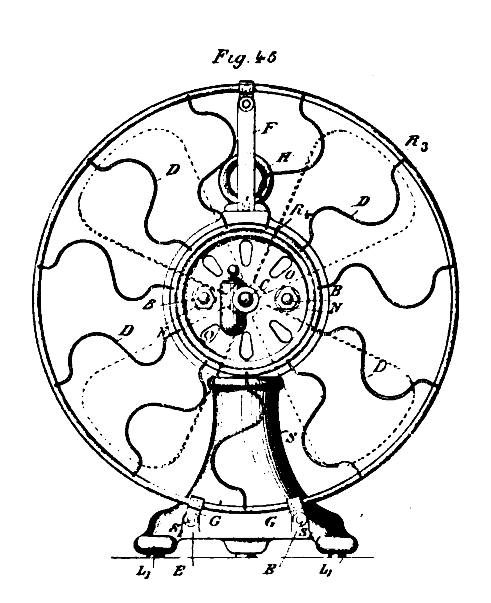


Fig. 42 à 45. — Ventilateur Lundell (1900).

interchangeables P et P_1, avec enroulement incliné sur l'axe de l'armature C, à paliers JJ, venus de fonte avec les fonds RR_1, reliés entre eux par les boulons en bronze BN qui n'affaiblissent pas les pièces polaires de PP_1, et à PP_1 par les goujons d_1. La ventilation du moteur se fait par les ouvertures OO, qui permettent aussi l'accès au commutateur V.

Le graissage se fait par les poches WW_1 (fig. 42) avec fermetures M et tampons capillaires W_1 amenant aux paliers l'huile de O, qui y revient par TQ. L'inducteur PP_1 est fixé par les vis ss à la colonne S portée par trois caoutchoucs L_1, avec commutateur à rhéostat L, dont les fils ww aboutissent par KJ_1 aux douilles métalliques S_1, prises dans les isolants I fixés à R_1 par les vis Z, et à ressorts S_2, poussant sur V les balais en charbon B. Les bornes J_1 sont solidement maintenues dans les trous e de K par le frottement des ressorts tt.

La cage $R_2R_3R_4$ du ventilateur est fixée, au bas de S, par GG et les vis S_1 et en haut, par la fiche F.

(*A suivre.*)

G. Richard.



CONSTRUCTION DE MOTEURS A COURANTS ALTERNATIFS

RÉPONDANT A UNE CONDITION DONNÉE

Les moteurs polyphasés, synchrones et asynchrones, ont leurs avantages et leurs inconvénients (¹). Toutefois, dans de nombreux cas, les avantages des moteurs asynchrones l'emportent de beaucoup sur les moteurs synchrones ; aussi les premiers sont-ils plus employés que les seconds.

Aux nombreux usages des moteurs asynchrones correspondent des conditions de divers ordres : couple de démarrage élevé, possibilité de supporter de grandes surcharges, rendement élevé, vitesse sensiblement constante aux différentes charges, etc. En outre les stations centrales qui alimentent ces moteurs ont un certain nombre d'exigences :

(¹) Ces avantages et inconvénients ont été bien souvent indiqués et discutés; qu'on nous permette cependant de les rappeler brièvement :

1° Le moteur synchrone polyphasé est identique à un alternateur et est de même excité par un courant continu. Le moteur synchrone ne démarre pas de lui-même, si ce n'est avec des dispositifs compliqués et encore seulement à vide. Un dispositif souvent employé à cet effet consiste en un transformateur à une bobine. Les figures 1 et 2 nous donnent le schéma pour une phase et pour le courant triphasé. L est la ligne, T le transformateur, M un commutateur, K les bornes du moteur. Le courant de démarrage du moteur synchrone est très grand. Si ce courant est emprunté directement à la ligne, il peut se produire une baisse de tension nuisible pour l'éclairage. Le dispositif précédent permet d'envoyer un courant intense dans le moteur sans influencer la ligne. Au démarrage l'interrupteur J est fermé, la manette M se trouve sur le contact 1 : alors le transformateur est parcouru par un courant égal au courant à vide d'un transformateur ordinaire. Lorsque la manette arrive sur le plot 2, la portion du transformateur qui est fermée sur le moteur est traversée par un courant qui est au courant total du transformateur dans le rapport inverse du nombre de spires. La tension quoique diminuée dans le même rapport, peut encore suffire à faire démarrer le moteur. Une fois celui-ci en mouvement, on déplace lentement la manette dans le sens de la flèche. L'intensité du courant du moteur diminue pendant que la tension augmente ; une fois le régime normal atteint, on ouvre l'interrupteur J pour éviter une consommation inutile d'énergie dans le transformateur. Dans le passage d'un plot au suivant, il faut éviter que la manette ne mette une bobine en court-circuit, mais il faut éviter aussi les interruptions de courant qui produiraient de fortes étincelles.

Cette méthode de démarrage a un grand inconvénient. Lorsque l'on envoie le courant alternatif transformé dans l'armature, il se développe dans les bobines inductrices une haute tension alternative, car les bobines enroulées en fil fin ont un nombre de spires beaucoup plus grand que l'armature. Cette haute tension peut amener une rupture de l'isolant.

On emploie le moteur synchrone avec avantage dans les grandes installations où l'on a toujours du courant continu à sa disposition et où le moteur commande une machine que l'on peut faire démarrer autrement, ou encore lorsque l'excitatrice, montée sur le même arbre que le moteur, peut servir à lancer celui-ci.

Rappelons l'usage bien connu des moteurs synchrones surexcités pour diminuer le décalage sur un réseau.

Un inconvénient du moteur synchrone, c'est qu'on ne peut pas le surcharger. En cas de surcharge il se décroche. Par contre il est très recommandable pour la commande des dynamos d'éclairage lorsqu'il n'y a pas de surcharge momentanée, car sa vitesse constante est très précieuse pour maintenir un voltage constant.

2° Les *moteurs asynchrones polyphasés* ont beaucoup d'avantages sur les moteurs synchrones : ils démarrent d'eux-mêmes et en charge ; ils ne nécessitent pas d'excitation en continu, et sont branchés directement sur le réseau ; de même que le moteur série en continu, ils sont susceptibles d'une forte surcharge ; ils n'exigent aucune surveillance et ne donnent pas d'étincelles.

Le moteur asynchrone comprend, comme on sait, un champ magnétique produit par la source alternative, et dans lequel se meut un induit portant un ou plusieurs enroulements fermés sur eux-mêmes. Les lignes de force produites par le courant alternatif se ferment sur l'induit et y développent des forces électromotrices qui produisent des courants : ceux-ci réagissent sur le champ. Les enroulements sont disposés de telle sorte que ces réactions se composent suivant un couple résultant et l'induit se met en mouvement.

Les moteurs diphasés et triphasés sont tous deux entrés dans la pratique. On reproche souvent au moteur diphasé d'avoir un couple de démarrage faible ; mais ce reproche n'est pas justifié et les deux exemples que nous donnons à la fin, prouvent que le moteur diphasé a un couple de démarrage de même ordre que le triphasé. Il faut seulement mettre un nombre suffisant de barres sur l'induit et l'inducteur pour avoir un couple sensiblement constant.



1° *Le courant de démarrage* ne doit pas dépasser un certain maximum dépendant de la puissance du moteur; ce maximum est compris ordinairement entre 100 et 150 p. 100 du courant correspondant à la charge normale;

2° Lorsque l'énergie est vendue par chevaux sur l'arbre, les stations exigent un *minimum de rendement* pour chaque moteur;

3° Pour chaque moteur, on fixe le *maximum du décalage*.

Le constructeur doit se préoccuper d'abord de réaliser les conditions exigées par la station centrale; puis il réalisera les conditions particulières exigées par la destination du moteur. Dans ce qui va suivre, nous étudierons la manière de réaliser ces différentes conditions.

Comment doit-on construire un moteur pour lui donner un couple de démarrage élevé?

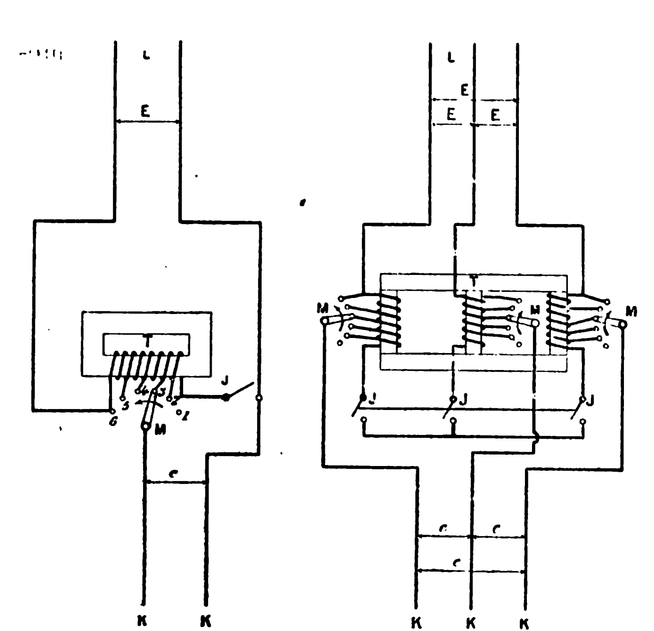


Fig. 1 et 2. — Dispositifs de démarrage des moteurs synchrones à courant alternatif simple et à courants triphasés.

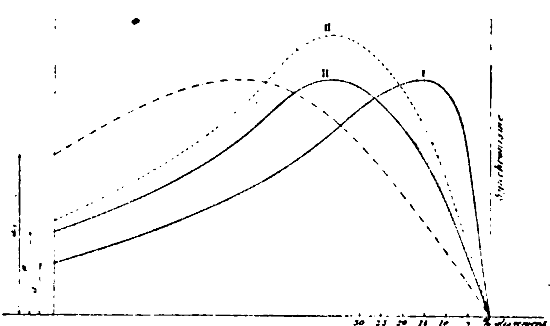


Fig. 3. — Couple moteur d'un moteur à induit en court circuit en fonction de la vitesse.

Les courbes I et II de la figure 3 donnent le couple d'un moteur à induit en court-circuit en fonction du nombre de tours. Le couple croît depuis le démarrage jusqu'à une certaine vitesse, puis diminue pour devenir nul au synchronisme. Mais le synchronisme n'est jamais atteint car il faut un certain couple pour vaincre les résistances passives. Pour augmenter le couple de démarrage, c'est-à-dire l'ordonnée a, nous augmenterons la saturation magnétique (courbe II), soit en diminuant le nombre de spires agissantes, soit, ce qui revient au même, en augmentant la tension. Mais nous augmentons ainsi les pertes par hystérésis, ce qui peut être inadmissible pour un moteur de dimensions données.

Un moyen plus souvent employé dans la pratique consiste à augmenter la résistance de l'induit au moyen d'une résistance auxiliaire; le maximum du couple n'est pas augmenté mais il est plus voisin de la période de démarrage, de sorte que le couple a, est augmenté. D'après Steinmetz, le maximum du couple est diminué par l'introduction de résistances si celles-ci sont inductives et augmenté si celles-ci possèdent de la capacité. Mais à cette augmentation du couple correspond une augmentation rapide de l'intensité du courant. Par contre, si les résistances sont dépourvues d'induction, le maximum du couple ne varie pas.

Le diagramme de Heyland nous montre d'une façon très claire ce qui se passe (fig. 4). Soit AE la direction de la force électromotrice. Nous supposerons que, la tension restant constante, le moteur passe de la marche à vide à la pleine charge; nous noterons chaque



fois l'intensité par phase et le décalage correspondant et nous porterons les intensités à une échelle arbitraire à partir du point A dans une direction déterminée par la phase.

Nous obtiendrons ainsi les points B_1, B_2, B_3, B_4, situés sur un cercle dont le centre O est sur la ligne AD perpendiculaire à AE. Ab_1, Ab_2, etc., sont les composantes wattées des intensités AB_1, AB_2, etc. Ces composantes nous donnent une mesure de l'énergie consommée par le moteur et il est facile de trouver l'échelle. Pour une certaine charge Ab_3, nous portons, à partir de b_3 à l'échelle des watts, le segment $b_3b'_3$ représentant l'énergie consommée par le primaire en chaleur joule ; de même nous portons $b'_3b''_3$ représentant l'énergie perdue dans le cuivre induit ; par b'_3 et b''_3 nous menons des parallèles à AD jusqu'à leurs points de rencontre avec B_3D ; cc' nous donne la mesure du couple et ee' de la puissance du moteur, correspondant à une consommation mesurée par Ab_3. Pour une même résistance du cuivre inducteur, le point c se meut sur le cercle BcD et le point e sur le cercle BeD, ayant respectivement pour centre O_1 et O_2. Au démarrage, le travail sur l'arbre est nul, la ligne ee' se réduit à un point ; DB_3 est tangent au cercle DeB ; le couple de démarrage est donné par la ligne $c_1c'_1$. Le sommet B_5 du triangle DB_5B se déplace depuis le démarrage jusqu'au

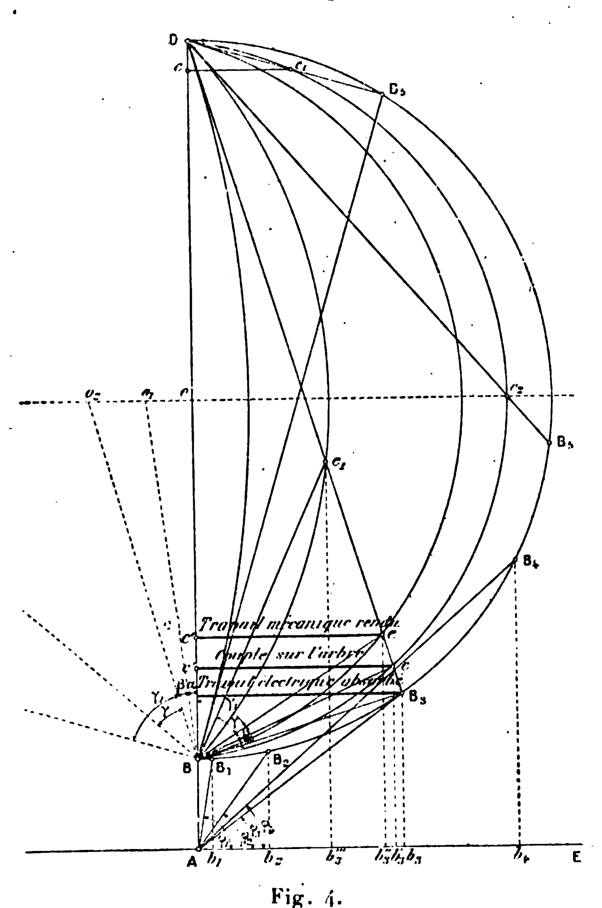


Fig. 4.

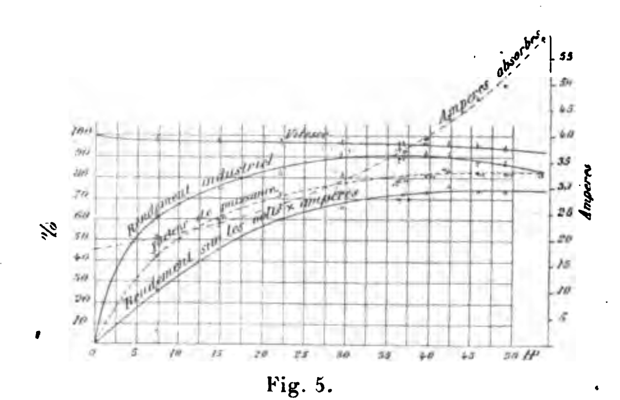


Fig. 5.

synchronisme depuis B_3 jusqu'à B et si nous prenons les couples correspondant aux diverses positions, nous obtenons les ordonnées de la figure 3.

Supposons que la résistance du moteur augmente, par l'adjonction d'une résistance auxiliaire. Le point e se rapproche de D sur la ligne B_3D, car le nombre de watts consommés par l'induit augmente et b''_3 se rapproche de A. Le segment DeB diminue et le point B_5 se rapproche de B. Lorsque c_1 vient en c_2 le couple de démarrage est maximum. Le cercle qui touche la ligne Dc_2 en D et doit passer par B coupe la ligne DB_3 en e_1 et $b'''_3b'_3$ nous donne la perte en watts dans l'induit et par suite la valeur de la résistance additionnelle correspondant au couple maximum. La tangente trigonométrique de l'angle γ nous donne une mesure de cette résistance.

Si l'intensité de démarrage ne doit pas dépasser celle qui correspond à la charge normale, la question se présente autrement. Notre diagramme nous montre que les courants

primaires correspondant aux diverses charges sont représentés par AB_1, AB_2... Soit B_3 le point correspondant à la charge normale ; nous voyons que pour le démarrage avec couple maximum le courant primaire est supérieur au courant normal. Si l'on veut avoir l'intensité normale au démarrage, on a un couple de démarrage cc' et la résistance additionnelle nous est donnée par $\operatorname{tg} \gamma_1$. Nous voyons donc que cette condition nous donne un couple de démarrage qui n'est pas supérieur au couple normal.

Nous avons supposé implicitement que la résistance auxiliaire était graduellement mise hors circuit après le démarrage. Si la résistance restait d'une façon permanente dans l'induit, le rendement baisserait beaucoup, car l'énergie consommée par l'induit serait très grande. De plus, la surface de refroidissement de l'induit serait trop petite pour dissiper la chaleur produite.

La figure 3 nous montre qu'en augmentant la résistance de l'induit, non seulement on augmente le couple de démarrage, mais encore, pour une puissance donnée du moteur, le nombre de tours diminue ; on peut donc employer les résistances additionnelles pour le réglage de la vitesse et diminuer celle-ci de 50 p. 100, mais en même temps la puissance du moteur diminue.

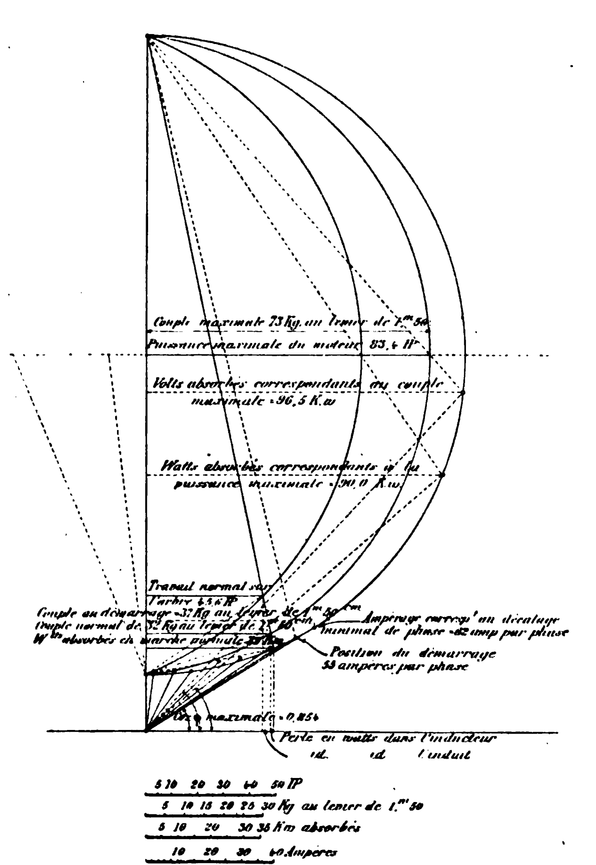


Fig. 6.

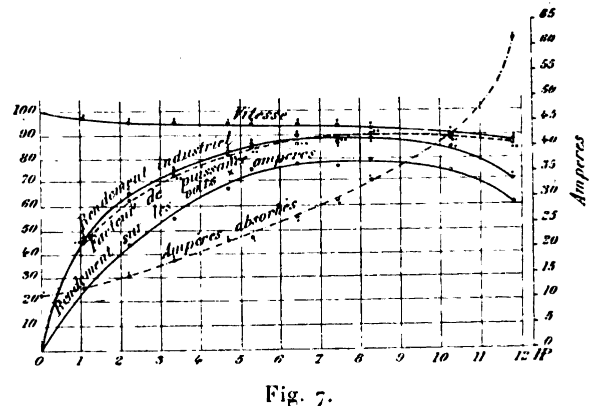


Fig. 7.

On peut aussi régler la vitesse d'une autre façon en disposant les inducteurs de telle sorte qu'avec un commutateur on obtienne deux nombres de pôles différents, par exemple deux ou quatre pôles, six ou douze pôles, etc. Mais ceci suppose que l'induit est un court-circuit et ne présente pas de pôles ; donc, l'emploi de ces moteurs est limité, puisqu'on ne peut leur donner le couple de démarrage voulu.

Pour une station centrale, il est très important que les moteurs branchés sur le réseau présentent un faible décalage, car sans cela la puissance des génératrices et l'utilisation de la ligne sont diminuées. Déjà, beaucoup de stations centrales limitent le décalage toléré des moteurs. Comme le montre le diagramme de la figure 4, le décalage d'un moteur dépend d'abord du courant à vide, car plus celui-ci augmente, plus le cercle s'éloigne de son point de départ A. Le courant à vide est la résultante du courant magnétisant qui est représenté par AB et du courant watté nécessaire pour vaincre les résistances passives. Celui-ci est

constant pour un moteur de grandeur donnée, le courant magnétisant dépend du nombre de pôles, de l'entrefer et de la saturation, et augmente avec ces grandeurs. Le nombre de pôles est donné par le nombre de tours. L'induction ne doit pas être trop petite, car le moteur ne démarrerait pas, et, comme nous le verrons plus loin, on ne pourrait pas le surcharger. Par contre, rien ne s'oppose à la diminution de l'entrefer, si ce n'est les difficultés de construction mécanique. La dispersion magnétique influe également sur le décalage. Elle dépend du diamètre de l'induit et, pour une puissance donnée, diminue lorsque ce diamètre augmente. Dans l'égalité posée par Heyland, on a

$$\frac{AB}{BD} = 2\tau$$

τ étant la moyenne des coefficients de dispersion primaire et secondaire. Lorsque la dispersion diminue $\frac{AB}{BD}$ diminue et il en est de même du décalage.

Nous pouvons également accroître les conditions de surcharge sans modifier les dimensions du circuit magnétique, ce qui peut être très important pour le constructeur: il suffit pour cela d'augmenter l'induction. Le courant à vide sera un peu augmenté et en même temps le décalage aux faibles charges; mais le décalage minimum n'est pas modifié et ne se produira avec cette modification qu'aux fortes charges. Les pertes par hystérésis augmentent et le rendement diminue.

Nous terminerons en donnant les résultats d'essais de deux moteurs: 1° Moteur diphasé de 45 chevaux, 45 périodes, 500 volts, 8 pôles. Ce moteur était destiné à actionner une machine à glace et devait avoir un fort couple de démarrage. Le moteur est branché sur un réseau urbain et le courant de démarrage devait très peu excéder le courant normal. L'induit était pourvu de bagues de contact pour pouvoir introduire des résistances. On garantissait un rendement maximum de 90 p. 100 et le moteur devait fonctionner jour et nuit pendant plusieurs mois, sans aucun incident. Les figures 5 et 6 donnent les résultats d'essais.

Le grand courant à vide et le faible facteur de puissance sont nécessités par le grand entrefer que l'on a été obligé de donner au moteur pour que l'usure des coussinets n'oblige pas à les changer trop souvent.

Le frein de Prony employé pour l'essai avait un bras de levier de 1,50 m. Pour produire le couple de démarrage élevé de $37 \times 1{,}50$ kg; on a employé un rhéostat bifilaire. Les pertes en watts sont de 1 100 W pour les deux phases du champ et de 2 500 W pour les trois phases de l'induit.

2° Moteur diphasé de 9 chevaux, 45 périodes, 110 volts, 4 pôles. Ce moteur commande un ascenseur et doit présenter un couple de démarrage élevé ainsi qu'une forte surcharge. La figure 7 donne les résultats d'essais.

J. Buchi,
Ingénieur Riga.



REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

DISTRIBUTION

Représentation graphique des courants alternatifs parcourant une longue canalisation, par le **Dr F. Breisig**. *Electrotechnische Zeitschrift*, t. XXI p. 87, 25 janvier 1900.

Quand un courant traverse une résistance, son intensité reste constante tandis que le potentiel décroît de la quantité RI. Si nous remplaçons cette résistance par une canalisation ordinaire, les défauts d'isolation font aussi varier l'intensité. Si dans la même canalisation nous faisons passer un courant alternatif, les pertes de tension sont dues, non seulement à la résistance mais encore aux forces contre-électromotrices ; les variations de courants sont dues non seulement aux dérivations mais encore aux courants de charge. Ces phénomènes font varier l'angle de phase avec le point de la canalisation ; nous allons essayer de les représenter graphiquement.

Nous représenterons, d'une façon suffisamment approchée, la ligne par un nombre fini de tronçons entre lesquels se trouvent de petits

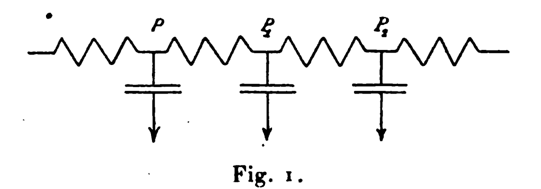


Fig. 1.

condensateurs (fig. 1). Soient OA et OB le potentiel et l'intensité en P (fig. 2). De P en P_1 le potentiel varie d'une quantité égale à OB $\times$ impédance de PP_1. Soit Oa_1 cette variation que nous portons suivant AA_1 puisque c'est une chute de tension. Donc OA_1 est la tension en P_1. En P_1 il y a dérivation à travers le condensateur fictif, dérivation dont l'intensité Ob_1 est proportionnelle à la tension, la capacité et la pulsation. Comme il s'agit d'une perte de courant nous la portons suivant BB_1. Donc OB_1 est l'intensité en P_1. De même de P_1 en P_2 la perte de tension est A_1A_2 et en A_2 le courant dérivé est B_1B_2. Si on poursuit cette construction, les extrémités des tensions et des intensités se trouvent sur des spirales. A titre d'exemple, les courbes de la figure 3 se rapportent à une ligne artificielle de 1500 ohms,

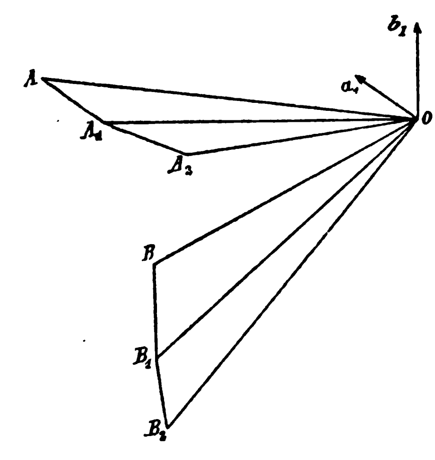


Fig. 2.

2 henrys, 2,5 microfarads. La courbe AAA est celle de la tension, la courbe BBB celle de

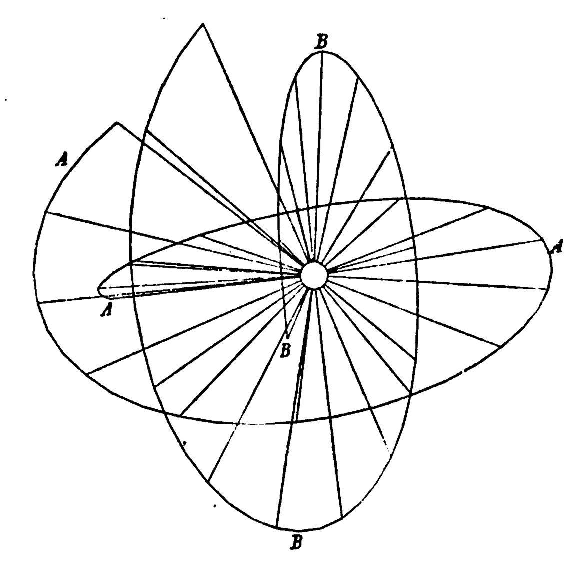


Fig. 3.

l'intensité. Le potentiel le long de cette ligne a été également déterminé par une série de mesures qui ont concordé avec cette théorie.

Le défaut de cette construction c'est que toutes les erreurs s'ajoutent ; on a donc cherché une méthode permettant de représenter graphi-

quement tous les vecteurs d'un point de la ligne sans être forcé de considérer tous les vecteurs précédents.

Considérons une portion de ligne de longueur variable et occupons-nous uniquement de ce qui se passe aux extrémités. Soit P_1 l'extrémité d'arrivée du courant et V' et I' le potentiel par rapport à la terre et l'intensité en ce point ; soit de même P_2 l'extrémité de départ et V'' et I'' les grandeurs correspondantes. Si V' et I' sont donnés, V'' et I'' en résultent forcément et s'en déduisent par une équation dont les coefficients dépendent des propriétés de la ligne. Entre V'' et V' existe une différence proportionnelle au courant due aux chutes ohmiques et aux forces contre-électromotrices ; de même la différence entre les courants est due à des dérivations et des courants de charge et est proportionnelle à la tension. Cela est vrai tant que les lignes ne contiennent pas de fer ; laissant les lignes en fer de côté, les effets magnétiques sont dus uniquement aux filets protecteurs. Mais on ne s'écarte que très peu d'une loi linéaire : les forces magnétisantes sont petites et les résistances très fortes. On peut donc sans erreur sensible adopter la loi linéaire pour les câbles. Les relations entre les grandeurs précédentes peuvent s'écrire

$$V'' = AV' - BI' \qquad I'' = DI' - CV' \qquad (1)$$

A, B, C, D dépendant des propriétés de la ligne. Nous supposerons celle-ci constituée de telle sorte que, si l'on échange les endroits d'arrivée et de départ, la direction seule des courants change mais non les valeurs effectives des tensions et des courants. Ainsi donc, d'une part la ligne reçoit en P_2 un courant I_2 sous la tension V_2 et transmet en P_1 un courant I_1 au potentiel V_1 ; d'autre part, elle reçoit en P_1 un courant I_2 au potentiel V_2 et transmet en P_2 un courant I_1 au potentiel V_1. Si nous considérons comme positif un courant de P_2 vers P_1, nous désignerons dans le second cas les courants par $-I_1$ et $-I_2$.

Les équations (1) doivent être vérifiées dans les deux cas, si nous prenons pour V'' et I'' les valeurs en P_2 et pour V' et I' les valeurs en P_1. Nous avons alors les égalités.

$$\begin{aligned} V_2 &= V_1A - I_1B \\ V_1 &= V_2A + I_2B \\ I_2 &= I_1D - V_1C \\ -I_1 &= -I_2D - V_2C \end{aligned}$$

Ceci suppose que la ligne est symétrique par rapport à son milieu. On tire des égalités précédentes

$$\begin{aligned} V_1 &= A(V_1A - I_1B) + B(I_1D - V_1C) \\ V_1 &= D(I_1D - V_1C) + C(V_1A - I_1B) \end{aligned}$$

égalités vraies pour toutes valeurs de V_1 et I_1, d'où

$$1 = A^2 - BC \qquad 1 = D^2 - BC$$
$$0 = -AB + DB \qquad 0 = -DC + AC$$

d'où $D = A$. Les égalités fondamentales deviennent alors

$$\begin{aligned} V'' &= AV' - BI' \\ I'' &= AI' - CV' \end{aligned}$$

et entre A, B, C on a la relation

$$A^2 - BC = 1$$

Nous chercherons à exprimer ces nombres en fonction de la longueur de la ligne. Il est bon de remarquer que, pour les lignes pourvues uniquement de résistance, capacité, dérivations et self-induction, les coefficients peuvent se calculer exactement. On en déduit trois coefficients qui jouissent des mêmes propriétés que A, B, C. Calculons les valeurs

$$p_1 = \sqrt{(a + imc)(r + iml)}\,L$$
$$Z_1 = \sqrt{\frac{r + iml}{a + imc}}$$

où L est la longueur de la ligne, a la longueur des dérivations, c la capacité, r la résistance, l la self-induction, pour 1 kilomètre, m la pulsation. Pour cette ligne le potentiel et l'intensité d'une extrémité se déduisent du potentiel et de l'intensité à l'autre extrémité par des égalités de même forme

$$V'' = A_1V - B_1I' \qquad I'' = A_1I' - C_1V'$$

où

$$A_1 = \frac{1}{2}(e^{p_1} + e^{-p_1})$$
$$B_1 = -\frac{1}{2}Z_1(e^{p_1} - e^{-p_1})$$
$$C_1 = -\frac{1}{2}\frac{1}{Z_1}(e^{p_1} - e^{-p_1})$$

On vérifie facilement que $A_1^2 - B_1C_1 = 1$.

Il est donc permis de former les quantités A, B, C au moyen de p et de Z sur une ligne arbi-

traire et p_1 est proportionnel à la longueur de la ligne : reste à savoir s'il en sera de même pour p sur des lignes de propriétés inconnues. Pour le prouver, nous ajouterons à la ligne en P_2 un morceau de ligne $P_2 P_3$ d'une longueur égale. Nous avons alors

$$V''' = A V'' - B I'' \qquad I''' = A I'' - C V''$$

Remplaçant V'' et I'' par leurs valeurs

$$V''' = (A^2 + BC) V' - 2 A B I'$$
$$I''' = (A^2 + BC) I' - 2 A C V'$$

Si nous exprimons $A^2 + BC$ au moyen des exponentielles, nous avons

$$A^2 + BC = \frac{1}{4}(e^p + e^{-p})^2 + \frac{1}{4}(e^p - e^{-p})^2 = \frac{1}{2}(e^{2p} + e^{-2p})$$

Cette quantité $A^2 + BC$ est relative à une ligne de longueur double et correspond à A de la première ligne, et on voit que l'exposant de l'exponentielle est deux fois plus grand pour la ligne double. On démontrerait des propriétés analogues pour les coefficients d'une ligne n fois plus longue ainsi que la relation

$$A_n^2 - B_n C_n = 1$$

Si donc nous posons $p = kx$, k et Z seront des coefficients dépendant de l'unité de longueur et nous aurons pour une ligne quelconque

$$A = \frac{1}{2}(e^{kx} + e^{-kx})$$

$$B = -\frac{1}{2} Z (e^{kx} - e^{-kx})$$

$$C = -\frac{1}{2}\frac{1}{Z}(e^{kx} - e^{-kx})$$

Il est facile de déterminer k et Z pour une ligne déterminée. Si on isole l'une des extrémités de la ligne, et si nous cherchons quel est le courant qui pour une tension initiale donnée parcourt la ligne, le quotient est une grandeur que l'on peut appeler la résistance d'isolement apparente et qui a le caractère d'une impédance : nous la désignerons par U_1. Si ensuite nous portons l'extrémité de la ligne au potentiel o nous obtenons une deuxième impédance que nous appellerons la résistance apparente de la ligne et que nous désignons par U_2. De ces deux grandeurs on déduit A, B, C. Si on pose $I' = 0$ on a

$$V'' = + A B' \qquad U_1 = -\frac{A}{C}$$
$$I'' = - C B'$$

Si on pose $V' = 0$ on a

$$V'' = - B I' \qquad U_2 = -\frac{B}{A}$$
$$I'' = + A I'$$

Remplaçant A, B, C par leurs valeurs.

$$U_1 = Z \frac{e^{kx} + e^{-kx}}{e^{kx} - e^{-kx}}$$

$$U_2 = Z \frac{e^{kx} - e^{-kx}}{e^{kx} + e^{-kx}}$$

D'où

$$Z = \sqrt{U_1 U_2}$$

$$\frac{e^{kx} + e^{-kx}}{e^{kx} - e^{-kx}} = \sqrt{\frac{U_1}{U_2}}$$

$$k = \frac{1}{2x} \log_e \frac{1 + \sqrt{\frac{U_1}{U_2}}}{1 - \sqrt{\frac{U_1}{U_2}}}$$

k et Z sont donc facilement mesurables.

Nous partirons de ces résultats pour étudier la marche du courant et la variation du potentiel le long de la ligne, que nous supposerons homogène. Considérons deux lignes de même construction, ayant l'une x_1, l'autre x_2 kilomètres. Nous faisons aboutir ces deux lignes aux mêmes appareils et nous disposons des tensions au départ de façon que les courants et potentiels de ces appareils soient les mêmes. Au point de la ligne la plus longue distant de x_1 km de l'extrémité, l'intensité et le potentiel ont forcément la même valeur qu'au départ de la ligne la plus courte. Nous sommes donc ramenés à déterminer les potentiel et intensité à l'origine d'une ligne, ce qui se fait par la méthode précédente. Les formules sont compliquées mais se représentent graphiquement d'une façon assez simple.

Nous examinerons d'abord un cas particulier, celui d'une ligne isolée à une extrémité $I' = 0$.

$$V'' = + A V'$$
$$I'' = - C V'$$

Nous pouvons poser $V' = 1$: nous obtiendrons alors pour une longueur x le potentiel et l'intensité initiaux qui donnent le potentiel 1 à l'ex-

trémité; les autres cas s'en déduisent. La tension en x correspondant à la tension finale 1 est A; l'intensité en x est — C. Remplaçant par leurs valeurs

$$\frac{V''}{V'} = \frac{1}{2}\left(e^{kx} + e^{-kx}\right)$$

$$Z\frac{I''}{V'} = \frac{1}{2}\left(e^{kx} + e^{-kx}\right)$$

On a

$$K = \lambda + i\mu$$
$$e^{kx} = e^{\lambda x} e^{i\mu x}$$

grandeur représentée par un vecteur de longueur $e^{\lambda x}$ décalé d'un angle μx. Si x varie, les

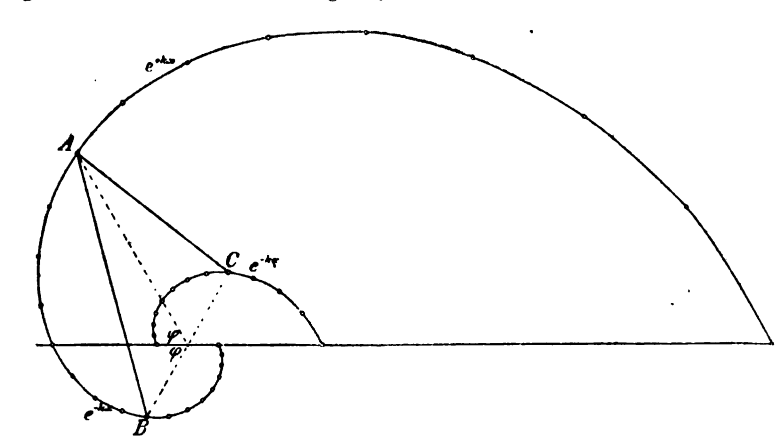


Fig. 4.

extrémités décrivent une spirale qui pour $n = 0$ commence au point $+ 1$.

L'équation polaire de cette spirale est

$$r = e^{\frac{\lambda}{\mu}\varphi}$$

C'est donc une spirale logarithmique qui ne dépend pas de la longueur de la ligne, et qu'on peut facilement construire.

La fonction

$$e^{-kx} = e^{-\lambda x} e^{-i\mu x}$$

est également représentée par une spirale semblable et part aussi du point $+ 1$ pour $x = 0$ mais les valeurs $e^{-\lambda x}$ doivent être portées sur des rayons vecteurs tournant d'angles — φ. Il est bon de construire également la courbe $-e^{-kx}$ qui n'est autre que la précédente ayant subi une rotation de 180° (fig. 4): Si on veut avoir le potentiel correspondant à un point x, on calcule l'angle $\varphi = \mu x$, et on porte sur la figure les angles φ, $-\varphi$, et $180° - \varphi$. On obtient ainsi les 3 points

$$A = e^{kx} \quad B = e^{-kx} \quad C = -e^{-kx}$$

On a

$$CA = e^{kx} + e^{-kx} = 2\frac{V''}{V'}$$

$$BA = e^{kx} - e^{-kx} = 2Z\frac{I''}{V'}$$

On obtient ainsi les grandeurs cherchées en amplitudes et en phases. Si on veut avoir un diagramme qui donne directement $\frac{I''}{V'}$, il faut diviser tous les vecteurs par Z, c'est-à-dire les faire tourner en sens inverse de l'angle de Z et les diviser par la valeur de Z. Les figures 4, 5, 6 représentent les courbes que l'on obtient par cette construction : il suffit pour cela de mener par un point du plan des parallèles aux vecteurs CA, BA. Ces courbes se rapportent à une ligne double formée d'un fil de 3 mm dont les deux branches sont distantes de 20 cm k et Z ont été déterminés par des mesures. Pour 340 périodes on a

$$Z = 368{,}5\, e^{-24{,}3° i}$$
$$k = 0{,}00906\, e^{+65° i} = 0{,}00382 + i\, 0{,}00820$$

Les spirales comprennent une longueur allant jusqu'à $\varphi = 180°$ soit $\frac{\pi}{0{,}00820} = 383$ km.

Nous passons ensuite au cas plus général où un appareil est branché à l'extrémité de la ligne; nous introduisons les propriétés de cet appareil dans les équations en posant $V' = I'W$, W étant l'impédance de l'appareil, et cela sans mettre aucune restriction. On a alors

$$\frac{V''}{I'} = AW - B = \frac{1}{2}\left[(W + Z)\, e^{kx} + (W - Z)\, e^{-kx}\right]$$

$$\frac{I''}{I'} = A - CW = \frac{1}{2Z}\left[(W + Z)\, e^{kx} - (W - Z)\, e^{-kx}\right]$$

Les grandeurs entre parenthèses se construisent aussi par spirales; la spirale $(W + Z)\, e^{kx}$ commence pour $x = 0$ au point $W + Z$, par suite avec un certain angle et une certaine gran-

deur. De même pour $(W - Z)\, e^{-kx}$. Sur la figure 7 Z représente OZ ; W peut être considéré comme connu si on connaît l'appareil d'utilisation et est représenté par OW ; si par W on

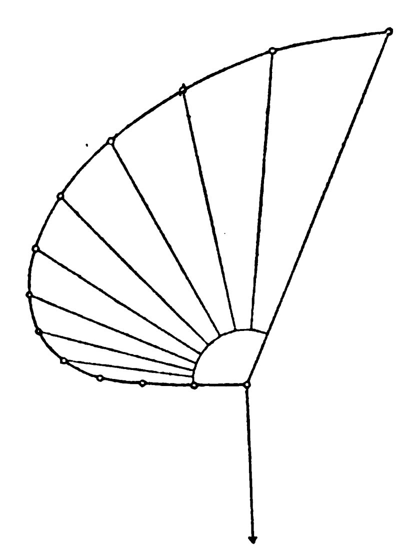


Fig. 5.

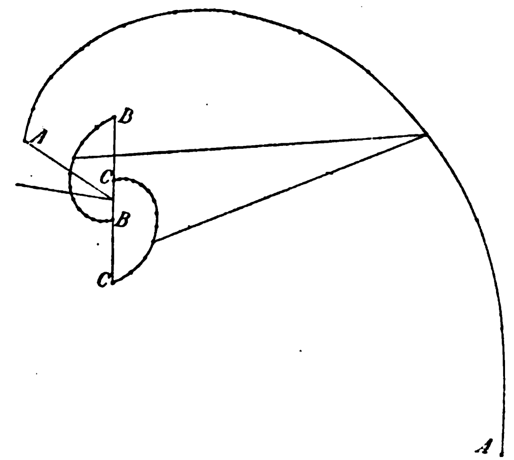


Fig. 6.

mène une parallèle à OZ et qu'on porte de part et d'autre de W des segments égaux à OZ on a

$$O Z' = W + Z$$
$$O Z'' = W - Z$$

Les spirales partent des points Z′ et Z″. Dans la figure 8 AA est la spirale $(W + Z)\, e^{kr}$, BB la spirale $(W - Z)\, e^{-kr}$, CC la spirale $-(W - Z)\, e^{-kr}$. Ces spirales se rapportent encore à la ligne précédente à l'extrémité de laquelle on place un appareil où $W = 650\, e^{40^\circ i}$. Si on joint deux points correspondants de cette courbe, on a les valeurs de $2\,\frac{V''}{I'}$ et $2\,Z\,\frac{I''}{I'}$ pour le point correspondant de la ligne. Dans la figure 9 on a porté les valeurs de $\frac{V''}{I'}$ et de $\frac{I''}{I'}$ pour des points de 15 en 15 degrés (32 en 32 km). On a fait

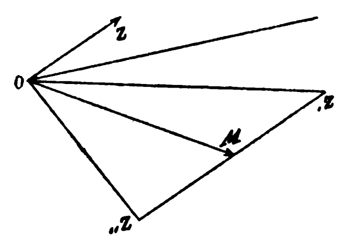


Fig. 7.

tourner tous les rayons vecteurs d'un angle tel que la tension OA à l'extrémité de la ligne soit prise comme origine des phases.

On voit que l'application de cette méthode, malgré la complication de l'apparence, se réduit à la construction de deux spirales, dont on doit

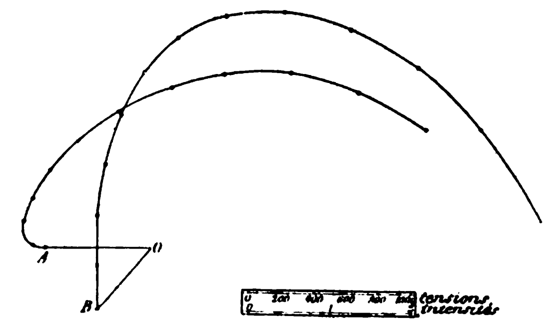


Fig. 8.

connaître les équations et les rayons vecteurs initiaux. Les équations sont données par

$$\varphi = \mu x. \qquad r = e^{\lambda x}$$

et les constantes μ et λ se déduisent de la grandeur $K = \lambda + i\mu$ que nous avons à déterminer. Les rayons initiaux des spirales sont $W + Z$ et $W - Z$, et on les déduit des deux impédances W et Z, l'une se rapportant à l'appareil, l'autre à la ligne. On est donc ramené à la mesure des trois grandeurs W, K, Z. W est connu si on connaît l'appareil, K et Z se mesurent comme il a été dit plus haut. En définitive tout revient à la mesure de trois impédances. E. Beuton.

TRACTION

Essais sur l'application à la traction électrique des courants triphasés à haute tension, par **W. Reichel.** *Elektroctechnische Zeitschrift, t.* XXI, p. 453, 7 juin 1900.

Déjà, vers 1890, la maison Siemens et Halske avait fait faire plusieurs essais pour permettre l'emploi des courants alternatifs en traction. En 1892, elle fit construire une voie de 360 m de longueur, comprenant une courbe d'un quart de cercle de 20 m de rayon. Le courant triphasé était emprunté à deux lignes aériennes par archets ou trôlets et aux rails par les roues de la voiture. La tension entre deux bornes de l'alternateur était maintenue constante entre 500 et 600 volts. La voiture se composait du train inférieur d'un tramway ordinaire sans caisse ; elle ressemblait à un wagon à marchandises.

Ce train était muni d'un électromoteur commandant l'un des essieux par l'intermédiaire d'une vis sans fin et d'une roue hélicoïdale. Le moteur tournait à 1 400 t : m et sa vitesse était réduite dans le rapport de 1 : 11. On ne dépassait donc pas 25 km à l'heure. L'enroulement primaire fixe du moteur pouvait être couplé en triangle au démarrage, et en étoile pendant la marche. Le couple de démarrage était donc au moins six fois plus grand que le couple normal. Dans le secondaire mobile, on pouvait intercaler des résistances au moyen de bagues de contact.

Cette expérience montra que le système employé pouvait facilement s'appliquer aux chemins de fer, et que l'établissement de la ligne ne présentait pas de difficultés particulières. Mais néanmoins, la question ne fit aucun progrès pendant assez longtemps. Certains inconvénients se présentaient qui firent reculer devant l'adoption du courant triphasé. Les voitures devaient être munies de trois prises de courant et il fallait employer trois lignes, le nombre des conducteurs reliant les moteurs aux prises de courant et à l'appareillage se trouvait augmenté. Le poids total de l'équipement était un peu plus élevé qu'en continu. La nécessité de marcher plus lentement en ville qu'à l'extérieur, et de traîner à l'occasion une ou deux remorques, conduisait à employer au moins deux moteurs.

Il est vrai que l'on peut, par la mise en cascade des moteurs, réduire de moitié la vitesse ; mais le couple diminue également de moitié et la puissance est réduite au quart. Le montage est aussi très compliqué. On se voyait donc obligé, pour réaliser la demi-vitesse, de mettre des résistances dans le secondaire. En outre, la fréquence 50, nécessitée par l'éclairage, obligeait à donner aux moteurs triphasés un entrefer de 1 à 1,5 mm contre 2,5 à 3 mm pour les moteurs continus. Il fallait donc augmenter les paliers, ce qui augmentait l'encombrement.

En outre, le moteur continu convient mieux aux parcours accidentés que le moteur triphasé. Les deux moteurs ont en effet à fournir le même effort en rampe ; mais tandis que la vitesse du moteur continu diminue, celle du moteur triphasé reste sensiblement la même, ce qui conduit à une augmentation de poids de ce dernier. Enfin le couple du moteur continu est sensiblement indépendant de la tension, tandis que celui du moteur triphasé varie en raison inverse du carré de la tension.

Un exemple numérique mettra mieux en lumière la situation respective des deux moteurs. Soit une voiture à 20 places assises et 18 debout traînant deux remorques de même capacité. Cette voiture devra parcourir une rampe de 40 p. 1000 longue de 800 m et avoir en palier une vitesse maxima de 30 km à l'heure. La rampe se trouve en un point de la voie où la tension ne descend pas au dessous de 10 p. 100. Tension moyenne 725 volts ; tension sur la rampe 650 volts.

Poids de la voiture motrice, y compris l'équipement	9,5 t.
Poids des deux remorques	8,5 »
Poids des voyageurs	10,5 »
Total	28,5 t.

Rapport de la transmission 1:5,1 (2 moteurs) ; rayon des roues motrices $r = 0{,}44$ m ; rendement de la transmission $y = 0{,}94$.

Puissance du moteur :

1° Sur la pente de 40 p. 1 000 :

$$M = \frac{T(9+8)r}{2.5,1.y} = \frac{28{,}5(40+8)}{2.5.1.0{,}94} = 63 \text{ kgm}$$

2° En palier :

$$M = \frac{T(9+8)r}{2.5,1.y} = \frac{28.5(0+8)0{,}44}{2.5,1.0{,}94} = 11 \text{ kgm}$$

A ces données, correspond un moteur de 1 000 kg qui pourra donner en rampe une vitesse de 19 km à l'heure sous 650 volts, et en palier



31 km à l'heure. Le couple maximum au démarrage serait de 100 kgm.

Le moteur triphasé répondant aux mêmes données doit pouvoir donner une vitesse de 30 km même en rampe pour la fréquence 50, car la vitesse n'est pas variable. Sa puissance est donc 1,5 fois plus grande que celle du moteur continu. Il pèsera donc 1 230 kg. Le couple maximum pour 650 volts sera également 100 kgm et ne doit pas être dépassé.

La comparaison, il est vrai, a été un peu outrée, mais elle motre bien la difficulté de la question. Dans ce cas, les autres avantages du moteur triphasé n'interviennent pas, entre autres, celui de donner à 725 volts un couple 1,25 fois plus fort et à 800 volts 1,5 fois plus fort.

Mais dans les applications de la traction électrique aux chemins de fer d'intérêt local ou suburbains et aux chemins de fer ordinaires, les conditions sont bien plus avantageuses pour le courant triphasé, et on peut l'employer avec succès dans des cas où il ne faudrait même pas songer à employer le courant continu. Il s'agit ici d'une consommation d'énergie très régulière et très tranquille, et les moteurs peuvent travailler longtemps avec la même vitesse. Là où les rampes sont fortes, comme dans les pays de montagne, elles sont aussi plus longues, et on déterminera les moteurs d'après leur marche en rampes. Dans les descentes, les moteurs à champ tournant assurent une vitesse régulière et récupèrent une partie de l'énergie que l'on peut utiliser ailleurs (chemins de fer de la Jungfrau et du Gornergrat). Dans les chemins de fer, on peut employer des canalisations aériennes à n'importe quelle tension ce qui permet le transport de l'énergie à grandes distances.

Dans l'état actuel de l'industrie, les moteurs continus pour tensions au delà de 1 000 volts ne sont pas encore entrés dans la pratique ; on ne pourra donc guère dépasser cette tension ; par contre, on construit facilement des moteurs triphasés jusqu'à des tensions de 4 000 volts.

On considèrera donc les cas suivants de transport d'énergie par canalisations aériennes.

1° Courant continu jusqu'à 1 000 volts. Un nombre assez grand de stations à certaines distances les unes des autres, avec le secours de batteries d'accumulateurs ;

2° Courant continu jusqu'à 1 000 volts. Un nombre assez grand de sous-stations avec convertisseurs rotatifs transformant le courant triphasé en continu, avec le secours de batteries ;

3° Courant triphasé jusqu'à 1 000 volts, alimentant directement les moteurs. Transformateurs statiques le long de la voie ; tension primaire arbitraire ;

4° Courant triphasé de 1 000 — 4 000 volts, alimentant directement les moteurs. Station centrale de même tension ;

5° Courant triphasé de 4 000 — 15 000 volts, transformé sur les voitures et alimentant ensuite les moteurs. Station centrale de même tension.

Evidemment, le choix entre ces divers modes dépendra des circonstances locales ; mais il arrivera souvent que le dernier mode sera le seul praticable. Ainsi, sur une ligne de Berlin à Hambourg, longue de 240 km, un seul train consommerait jusqu'à 1 220 chevaux électriques. Nous ferons à ce sujet les hypothèses suivantes :

Un train part de chaque extrémité, ils se croisent au milieu. Soit :

Q = section de la ligne.

C = résistance spécifique par kilomètre pour 1 mm² de section = 17.6 ohms.

E_I = tension primaire, E' = perte de tension, E_{II} = tension secondaire.

I = intensité, A_{II} = travail correspondant à E_{II}.

1° Supposons $E_{II} = 900$ volts en courant continu (deuxième cas).

$$A_{II} = E_{II} I = 1220.736 = 900.000 \text{ watts}.$$

$$I = \frac{900.000}{900} = 1000 \text{ Ampères}$$

$Q_1 = 1000$ mm² pour le conducteur d'arrivée de courant.

$Q_2 = 400$ o mm² pour le conducteur de retour

Perte de tension par kilomètre de conducteur d'amenée :

$$e' = \frac{C}{Q} I = \frac{17{,}6.1000}{1000} = 17{,}6 \text{ volts}.$$

Perte de tension par kilomètre de conducteur de retour :

$$e'' = \frac{17{,}6.1000}{4000} = 4{,}4 \text{ volts}.$$

Pour une longueur de 8 km, la perte de tension totale est de

$$E' = 8(e' + e'') = 140 + 35 = 175 \text{ volts, soit 16 p. 100}$$

Donc la tension produite par les commutatrices des deux sous-stations devra être

$$E_I = 900 + 175 = 1075 \text{ volts.}$$

Pour ne pas prendre de trop grandes commutatrices on se servira de batteries d'accumulateurs et de machines de secours pour desservir encore 7 km, soit au total 15 km dans chaque direction. Il faudra donc 8 sous-stations, que l'on alimentera par 2 stations principales à 12 ou 15 000 volts situées chacune à $\frac{1}{4}$ de la longueur totale ou 60 km de chaque extrémité.

2° Supposons qu'il n'y ait qu'une seule station au milieu de la ligne et admettons une tension $E_{II} = 12\,000$ volts triphasés aux extrémités de la ligne.

$$A_{II} = E_{II} I \cos\varphi \sqrt{3} = 900.000 \text{ watts.}$$

$$I = \frac{900.000}{12.000 . 0{,}85 \sqrt{3}} = 52 \text{ Ampères environ}$$

$$Q = 100 \text{ mm}^2.$$

La résistance totale de la ligne pour 120 km de longueur et 100 mm² de section est

$$R = \frac{17{,}6}{100} . 120 = 21\ \Omega.$$

Perte de tension ohmique :

$$E' = RI = 1100 \text{ volts.}$$

Perte de tension inductive :

$$E_i = C\omega LI = 0{,}0059\ 2{,}5\ 120.52 = 900 \text{ volts.}$$

Graphiquement (fig. 1), on trouve que la perte

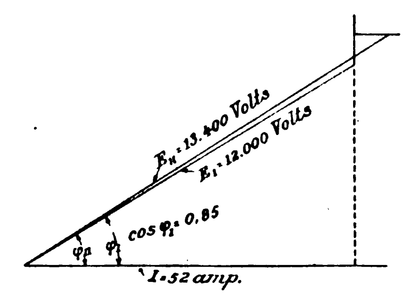


Fig. 1.

de tension totale est de 1 400 volts, soit 10 p. 100 de la tension primaire $E_1 = 13\,400$ volts.

On voit donc que le premier cas nécessite 8 sous-stations et 2 usines, le second une seule usine.

Nous ne pousserons pas la comparaison plus loin. Même sans établir de devis, on peut reconnaître les sérieux avantages du courant triphasé pour ces cas. Ces avantages sont les suivants :

1° Transformateurs statiques (n'exigeant par suite aucune surveillance);

2° Absence de collecteurs aux moteurs. Dans les moteurs à courant continu, il y a toujours à craindre, par suite de la haute tension qu'une étincelle ne jaillisse entre le collecteur ou les balais et le bâti.

3° Utilisation des hautes tensions pour la distribution de l'énergie ; économie sus les frais du personnel; contrôle facile de la marche des trains par suite de l'auto-régulation de vitesse des moteurs.

En 1897, la maison Siemens et Halske, désireuse de donner une impulsion nouvelle à la traction électrique sur chemins de fer, entreprit une importante série d'essais, avec le programme suivant :

1° Expériences sur les équipements électriques pour l'emploi de moteurs triphasés avec vitesse de 60 km et tensions jusqu'à 10 000 volts;

2° Essais de prises de courant appropriées, de dispositifs de sûreté contre les ruptures des fils, la formation des mous, etc.

Ces essais furent faits sur une route de 3 km de longueur : les travaux commencés au printemps de 1898, furent terminés au début de 1899, suivant le plan de la figure 2. La voie à écartement normal n'avait que 1,8 km de longueur. La station centrale était installée au milieu. Il y avait une courbe de 200 m de diamètre, une autre de 100 et une de 40, ces deux dernières situées sur les embranchements se rendant à la station centrale et au hangar à voitures.

Comme la voie se trouvait sur une route, on dut disposer sous les lignes aériennes des filets de protection, et par suite on ne put employer que deux systèmes de conducteurs aériens :

1° Dispositif où les contacts glissants surmontaient les fils;

2° Prise de courants par contacts glissants latéraux.

Les contacts ordinaires par trôlet ou archet ne pouvaient être employés : d'ailleurs, on n'aurait pas obtenu de résultats différents de ceux des tramways de Lugano, Stamstad-Engelberg, Burgdorf-Thun, Lecco-Colico, Sondrio, etc. Il faut

ajouter qu'avec le trôlet, les dangers de déraillement seraient trop grands, étant donnée la grande vitesse.

Ligne aérienne. — Dans le premier système, celui des contacts glissants situés au-dessus de la ligne (fig. 3), la ligne était formée de trois fils parallèles en bronze de 8 mm fixés sur des cloches d'isolateurs triples et disposés dans un plan oblique. Les isolateurs en porcelaine avaient été essayés pendant une demi-heure à 15000 volts ; ils reposaient sur des poutrelles de bois fixées avec des mâts en fer.

Les poutrelles pouvaient tourner de telle sorte que l'on pût tendre isolément chacun des fils, et cela afin de maintenir la flèche constante été comme hiver.

Plus tard, pendant la durée des essais, l'installation fut modifiée et disposée pour recevoir

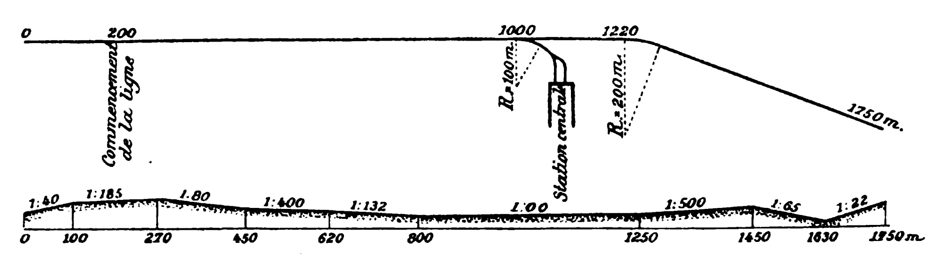


Fig 2.

des prises de courants latérales. Les trois conducteurs, distants d'un mètre, se trouvaient dans un plan vertical ; les poutrelles tournantes furent remplacées par des fers en U en forme d'ellipse Suivant le grand axe de cette ellipse se trouvait un tendeur disposé pour recevoir les supports d'isolateurs, ceux-ci étant dirigés obliquement vers l'extérieur ; sur ces supports, étaient vissées les cloches d'isolateurs. Les becs supportant les fils de cuivre de 8 mm se terminaient par des bagues métalliques solidement fixées sur la gorge des isolateurs au moyen de vis de pression.

Comme poteaux, on employa des poutres de fer enfoncées d'environ 1,90 m dans le sol. Les poteaux de tension étaient des poutres plus fortes enfoncées de la même quantité ; mais à cause de la grande tension latérale qu'elles avaient à supporter, elles étaient fixées dans du béton. La distance des poteaux en ligne droite était de 40 m ; dans les courbes, elle était moindre. Pour une portée de 40 m, la flèche était de 150 mm. Pour éviter que les poteaux ne présentent aucun danger en cas de contact avec la haute tension, on les mettait soigneusement à la terre en les reliant aux rails par des fils de 8 mm, vissés et soudés aux deux extrémités.

A l'emplacement de l'embranchement vers la station centrale, il fallait disposer un aiguillage aérien. A cet effet, les lignes se dirigeant vers la station sont entièrement interrompues, et les conducteurs amenant le courant sont à une hauteur suffisante au-dessus de la voie pour que la locomotive puisse passer au-dessous. Les parties frottantes des prises de courant, dont la rotation est limitée par des butées, flottent à cet endroit dans l'air ; et il fallut disposer convenablement le départ des lignes.

Dans le cas des contacts par le haut, on procédait ainsi : sur l'un des poteaux de la voie principale et sur l'un des poteaux de l'embranchement, les isolateurs étaient placés si bas que les pièces frottantes dans leur position la plus basse passaient par dessus les isolateurs ; les fils s'élevant graduellement, les pièces frottantes finissaient par les toucher. Le choc était ainsi très faible. Dans le système à contacts latéraux, l'ai-

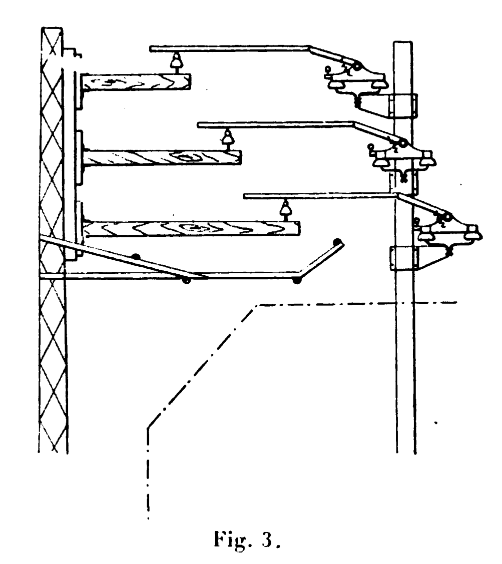


Fig. 3.

guillage était encore plus simple. Sur la voie principale, les lignes continuent en droite ligne ; le premier poteau de l'embranchement se trouve un peu en retrait des autres, de telle sorte que les lignes qui vont de ce poteau au suivant ne sont pas parallèles à la voie, mais font avec elle un petit angle ; le contact se fait encore graduellement et sans secousse. A cet endroit, la voie n'est naturellement parcourue qu'en vertu de la force vive.

Des filets protecteurs, disposés du côté de la voie, étaient destinés à empêcher, qu'en cas de rupture, un fil ne tombât sur la route. Ces filets se composaient de 4 fils d'acier parallèles de 5 mm fixés sur des traverses de fer portées par les poteaux. Les fils en long étaient réunis à des distances de 1,5 m par des fils en travers de 4 mm.

Comme protection contre la foudre, on employa des parafoudres à cornes ; un sur chaque phase.

Prises de courant. — Les prises de courant pour le contact supérieur se composaient de fortes barres d'aluminium mobiles autour d'un axe horizontal et fixées sur un tube de fer.

Les frotteurs peuvent se mouvoir dans un plan perpendiculaire au fil, et étaient amenés en contact au moyen d'un ressort. Pour éviter une usure trop rapide, la ligne formait des zig zags de 200 m de côté. Pour éviter les étincelles, il y avait toujours deux systèmes de prises de courant sur la locomotive.

Dans le système à contacts latéraux, les archets sont mobiles autour d'un axe vertical et les points d'attache se trouvent tous à la même hauteur, mais les archets sont de longueurs différentes et ont des inclinaisons différentes. Ils peuvent d'ailleurs aussi se mouvoir autour d'un axe horizontal. Les trois archets peuvent être simultanément écartés des lignes au moyen d'un système de vis. Aux embranchements, les lignes sont interrompues, les archets se placent perpendiculairement à la voie, puis reprennent doucement le contact. Les lignes et les prises de courant ont supporté 30 000 volts.

Station centrale. — La station centrale a été installée dans une dépendance d'une station déjà existante et pourvue d'une batterie d'accumulateurs et de moteurs à courant continu commandant un alternateur triphasé, à 12 pôles, 770 volts, 120 à 250 ampères, 500 t : m, fréquence 50, et permettant de produire par des combinaisons de circuits des tensions comprises entre 385 et 4 000 volts. Un transformateur triphasé avait comme rapport de transformation $\frac{750}{10\,000}$ volts pour $\frac{157}{11,5}$ ampères. On peut donc produire les tensions suivantes nécessitées aux essais : 750 volts directement ; 2 000 volts directement ; 10 000 volts par transformation. Les transformateurs, le bâti de la dynamo et les boîtes de protection étaient soigneusement mis à la terre, ce qui évita tout accident pendant la durée des essais.

Locomotive. — La locomotive était installée de telle sorte que l'on pût, dans les premiers temps, faire des essais de traction locale et non de chemins de fer. Le transformateur abaissant la tension de 10 000 à 750 volts, était monté sur une voiture de remorque portant les prises de courant. De la sorte on pouvait mieux observer de la machine le fonctionnement de ces dernières ; on se trouvait aussi mieux protégé contre la haute tension ; enfin l'encombrement des rhéostats et de l'appareillage ne laissait aucune place pour loger le transformateur. Mais les essais à 2 000 volts furent exécutés en recevant le courant directement sur la machine. Plus tard on disposa une caisse de fer sur la locomotive, de façon à pouvoir loger aussi le transformateur.

Le châssis inférieur de la locomotive était celui d'une voiture de chemins de fer ordinaire à 2 essieux ; le frein à main pouvait aussi être actionné par l'air comprimé. Diamètre des roues : 1 000 mm ; distance des essieux : 2 800 mm ; longueur de la plate-forme, 4 000 mm ; largeur 2 200 mm ; longueur totale avec tampons : 6 300 mm ; hauteur de la plateforme : 1 200 mm. Le bâti était soigneusement mis à la terre.

La caisse en tôle de fer comprenait la cabine du conducteur au milieu, d'une longueur de 1,30 m, avec portes des deux côtés. Les deux faces avant et arrière étaient vitrées et séparées par des portes de fer des compartiments renfermant les appareils. Le marchepied et sa rampe étaient portés par des isolateurs : au moment de monter sur la machine, on était ainsi protégé contre les différences de potentiel avec le sol. Toutes les parties de la locomotive non soumises à la haute tension étaient soigneusement mises à la terre.

Le poids total était de 16 000 kg.

La locomotive était munie de 2 moteurs tri-



phasés, 1 par essieu, de 650 à 850 volts, 30 chevaux en marche normale et 120 chevaux au maximum pour 650 volts.

Le courant était amené au stator fixe ; les rotors étaient des induits à barres avec bagues de contact. Entrefer : 1,5 mm. La figure 4 donne les courbes du moteur. On voit que le rendement maximum est de 88,5 p. 100 ; le facteur de puissance maximum 0,87 ; la puissance maxima pour 650 volts 120 chevaux. Pour 850 volts on arrive à 200 chevaux. En marche normale, le rendement est de 87 p. 100, $\cos \varphi = 0{,}79$, glissement $= 1{,}5$ p. 100, couple normal $= 21{,}6$ kgm, couple maximum 96 kgm. Les courbes montrent nettement qu'à partir d'un certain point la puissance diminue, ce qui tient à l'accroissement du glissement, et à la diminution du couple. Lorsque le moteur est chargé au point de développer son couple maximum et que la charge augmente encore, la vitesse diminue et tombe à 0. A ce moment le couple est très faible et, pour démarrer à nouveau, il faut revenir en arrière et introduire des résistances dans l'induit.

Les moteurs sont suspendus par des ressorts doubles et peuvent tourner autour de leurs points de suspension. Pour permettre les changements

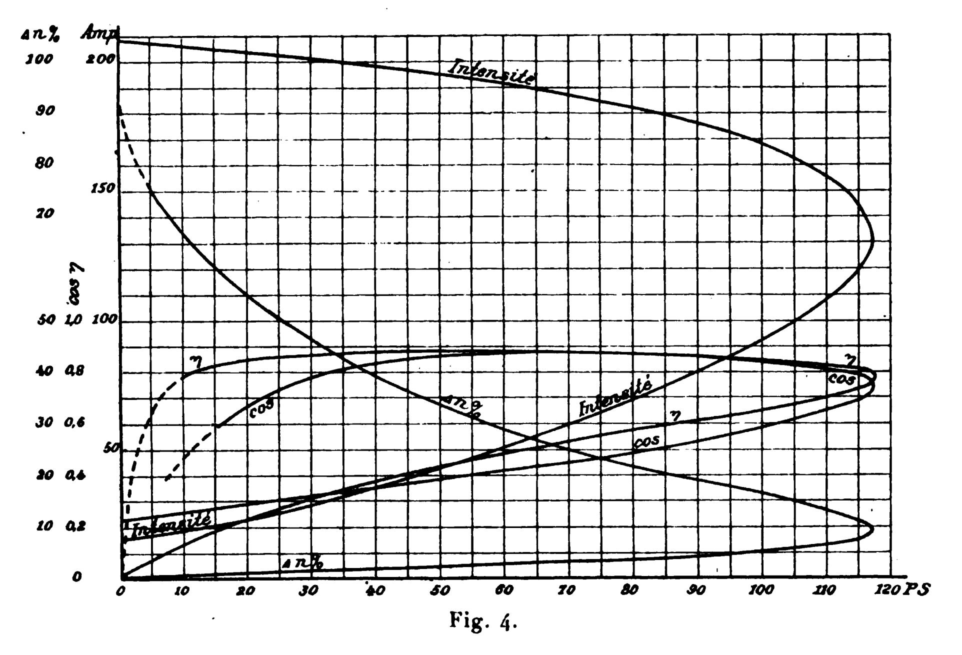


Fig. 4.

de vitesse, il y a 2 paires d'engrenages, l'une donnant le rapport 1 : 4,65 et une vitesse de 40 km, l'autre 1 : 3,15 et 60 km.

Pour les différentes tensions, on se servit des mêmes bâtis, et des mêmes rotors ; mais pour 2 000 volts on changea les stators. Comme le montre le schéma de la figure 5, on emploie un contrôleur de 750 volts, comprenant un commutateur de changement de marche et un interrupteur pour les circuits fixes des moteurs. Cet interrupteur est relié par chaînes avec les démarreurs. Si on tourne ces interrupteurs dans le sens de la marche, le rhéostat est mis hors circuit plot par plot. Sous 750 volts, le contrôleur est relié directement à la ligne ; avec 10 000 volts, on emploie un interrupteur à haute tension et un transformateur de 10 000 à 750 volts. Dans la marche à 2 000 volts, les conducteurs se rendant aux primaires des moteurs étaient séparés du contrôleur ; pour la marche avant, le circuit était fermé au moyen de l'interrupteur à haute tension ; pour la marche arrière, on employait un deuxième interrupteur analogue au précédent ; enfin les transformateurs étaient supprimés. Dans ce cas les contacts du contrôleur ne recevaient pas de courant, et le contrôleur ne servait qu'à la commande mécanique des démarreurs.

Le contrôleur est disposé de telle sorte que, par l'emploi de transformateurs auxiliaires, on pouvait disposer de tensions variées, lorsqu'on marchait à 10 000 volts. On pouvait ainsi démarrer sous 850 volts et marcher normalement sous 650. Enfin, dans certaines positions du con-

trôleur, il n'y a que 2 phases en circuit ; la vitesse peut ainsi être réduite de moitié. Les démarreurs sont entièrement distincts, pour permettre de supprimer facilement l'un des moteurs. Le contrôleur est fixé au milieu de la locomotive et à un solide bâti de fer. L'interrupteur à haute tension est en dehors de la cabine du mécanicien : il est logé dans l'une des caisses qui se trouvent de part et d'autre de la cabine. Il comporte un soufflage d'arc à courant d'air ; le contrôleur a un souffleur magnétique. Toutes les connexions sont soigneusement isolées et peuvent supporter 4 000 volts : elles sont protégées par des tubes de caoutchouc de 6 mm d'épaisseur. Les conducteurs reliant les prises de courant aux transformateurs sont recouverts d'un tube de fer et entièrement à l'abri d'un contact ou d'une influence extérieure quelconque.

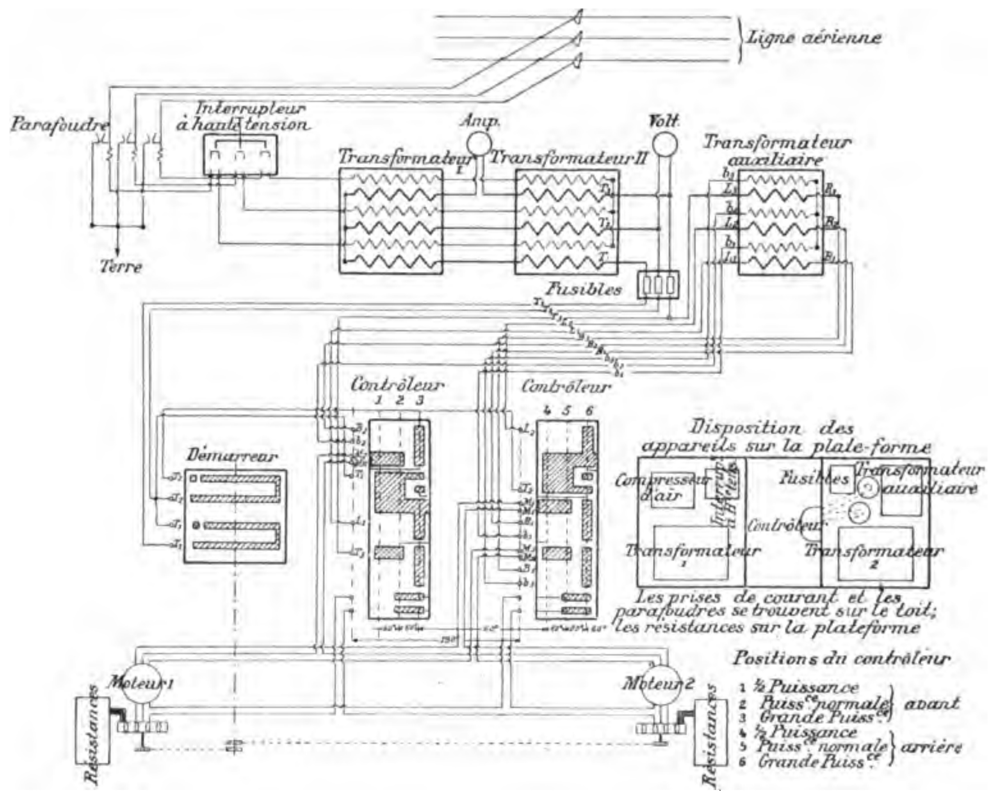


Fig. 5.

Les rhéostats sont suspendus au-dessous de la voiture et protégés par une caisse contre l'humidité. Pour les tensions moyennes, il y a un fusible pour chacune des 3 lignes ; pour les hautes tensions, il n'y a pas de fusible, car la voiture était seule à circuler sur la voie et les fusibles de la station suffisent. Par contre, sur chaque phase il y avait un parafoudre.

Les transformateurs réduisant la tension de 10 000 à 750 volts sont logés dans les caisses en bois couvertes, situées entre la cabine et les tampons. Ils ne sont pas accessibles au conducteur ; mais en cas de réparations, le couvercle de chaque caisse pouvait s'enlever. Le centre de l'étoile du transformateur ainsi que le bâti étaient mis à la terre.

Un compresseur donnait l'air comprimé.

Les essais préliminaires furent faits en été et automne 1899 ; les essais définitifs au printemps de 1900. Ces essais mirent nettement en lumière les propriétés des moteurs triphasés et montrèrent qu'il est parfaitement possible d'amener de l'énergie aux véhicules sous des tensions de 2 000 et 10 000 volts et d'utiliser cette énergie directement ou après transformation. L'installation adoptée a été reconnue convenable et indique la voie à suivre dans les projets analogues. Les résultats définitifs ont été les suivants.

Le démarrage de la machine pour une vitesse de 60 km et une charge de 30 tonnes se fit en 60 secondes sous une tension de 700 volts et une intensité de 190 ampères. Pour une vitesse de 40 km, la durée du démarrage de la machine seule a été de 14 secondes sous 640 volts et 180 ampères ; pour une vitesse de 60 km, cette durée est de 30 secondes. Avec une charge de 30 tonnes et 60 km à l'heure, la consommation a été de 70 ampères sous 700 volts ($\cos \varphi = 0,8$). On sait que le couple moteur croît comme le carré de la tension. Si donc la tension monte de 670 à 950 volts, le couple moteur double. Dans la marche à 10 000 volts, ceci peut se réaliser très simplement en ajoutant des bobines auxiliaires aux transformateurs. On peut ainsi décupler le couple normal. La vitesse peut se régler :

1° En mettant des résistances dans le secondaire, ce qui suppose une perte d'énergie ;

2° En interrompant l'un des conducteurs du secondaire ;

3° Par le couplage en cascade.

Avec la deuxième méthode, le moteur a un couple maximum un peu moindre ; la puissance diminue, car le nombre de tours est diminué de moitié ; le rendement et le $\cos \varphi$ diminuent ; mais en tous cas cette méthode est préférable à la première. Il en est de même du couplage en cascade dans lequel le couple diminue de moitié et la puissance est réduite au quart.

Pour que les moteurs fonctionnent convenablement dans la marche en parallèle, il ne doit pas y avoir entre les diamètres des roues de différence supérieure à 0,5 p. 100.

On a pu obtenir un freinage en diminuant la fréquence à la station par renforcement du champ des moteurs continus : dans les descentes, on restituait ainsi de l'énergie aux batteries. Un freinage par renversement de courant en cas de danger est possible, mais exige un réglage des résistances suivant les indications de l'ampèremètre, et nécessite de grandes résistances et une grande dépense d'énergie. Ce freinage n'est pas sûr si un conducteur est interrompu, car alors la locomotive continuerait son chemin suivant la même direction avec du courant monophasé.

Les divers dispositifs de sûreté,, notamment la mise à la terre des appareils, donnent une sécurité absolue.

Les essais comparatifs avec contacts supérieurs et contacts latéraux, montrèrent qu'il fallait donner la préférence aux derniers. Avec les contacts supérieurs, le dispositif employé pouvait encore convenir aux vitesses de 60 km ; mais aux points les plus élevés de la ligne, les frotteurs tendent à sauter en l'air, ce qui, à des vitesses plus élevées donnerait lieu à de fortes étincelles. De plus, il n'est pas facile d'écarter les frotteurs des lignes, ce qui est gênant aux stations, traverses, etc. Par contre, dans les changements de marche, la position des frotteurs est invariable et leur contact n'est pas modifié par la résistance de l'air. Les archets à contacts latéraux peuvent s'écarter très facilement des lignes ; et cette raison semble les rendre particulièrement propres aux chemins de fer : dans les lignes à double voie, il n'y aura de poteaux qu'au milieu, sans longues traverses. On peut aussi très facilement adopter des dispositifs de court-circuit qui mettent les lignes à la terre en cas de rupture et dispensent de filets. Enfin les embranchements et les courbes seront très simplifiés par la position, perpendiculaire à la voie, des archets.

Dans la marche à 10 000 volts les frotteurs se comportèrent mieux qu'aux tensions inférieures. Il n'y eut que quelques ruptures de courant, d'ailleurs sans conséquence, dues au mauvais état de la voie et à la petite distance entre essieux.

La conclusion de ces essais, c'est que l'emploi des courants triphasés à haute tension pour les chemins de fer est parfaitement possible, en l'état actuel de l'industrie ; et il est à souhaiter que cet emploi se généralise bientôt. E. B.

MESURES

Spectre du radium, par **C. Runge**. *Drude's Ann.*, t. II, p. 742-745, juillet 1900.

M. Runge a étudié le spectre d'un échantillon de chlorure de baryum radifère, préparé par M. Giesel, et n'a retrouvé que trois des raies signalées par M. Demarçay Il a observé également ces trois raies dans le spectre d'un bromure de baryum actif préparé par M. de Haen.

Il ne me semble pas qu'on puisse en rien conclure sur le spectre réel du radium, puisque les deux observateurs ont opéré sur des échantillons différents, et sans doute inégalement riches en radium. M.-L.

Le Gérant : C. NAUD.



Tome XXV. Samedi 3 Novemb:e 1900. 7e Année. — N° 44

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

GROUPE ÉLECTROGÈNE MIXTE DES ATELIERS D'AUSBOURG ET NUREMBERG RÉUNIS ET DE LA SOCIÉTÉ ANONYME D'ÉLECTRICITÉ CI-DEVANT W. LAHMEYER ET Cie

L'Elektricitäts Actien-Gesellschaft vorm. Lahmeyer (Société anonyme d'électricité, ci-devant Lahmeyer et Cie) de Francfort-sur-le-Mein et la Vereinigte Maschinen fabrik Augsburg und Maschinenbaugesellschaft Nürnberg (Société des ateliers réunis d'Augsburg et de Nuremberg) ont exposé dans la section allemande un groupe électrogène fournissant à la fois du courant continu et des courants alternatifs triphasés.

Les deux espèces de courants sont produites par deux dynamos distinctes, un alternateur d'une puissance de 1 000 kilovolts-ampères sous une tension de 5 000 volts et une génératrice à courant continu de 350 kilowatts sous une différence de potentiel aux bornes de 550 volts. Les deux dynamos sont montées chacune à l'une des extrémités de l'arbre du moteur à vapeur.

L'emploi de groupes mixtes pour la génération de l'énergie électrique dans les stations centrales alimentant à la fois des réseaux d'éclairage et de traction, au développement duquel la Société anonyme d'Électricité a beaucoup contribué en Allemagne, présente des avantages très sérieux au point de vue du fonctionnement économique des stations par suite de la meilleure utilisation du matériel vapeur et il serait à souhaiter qu'il se répande en France.

Le groupe Lahmeyer-Nuremberg est représenté sur la figure 1 qui donne une vue de l'ensemble prise en avant du moteur à vapeur dont nous allons donner tout d'abord une courte description.

**



Moteur a vapeur. — Le moteur à vapeur construit par les ateliers réunis d'Augsbourg et de Nuremberg est du type pilon compound à deux manivelles et à condensation.

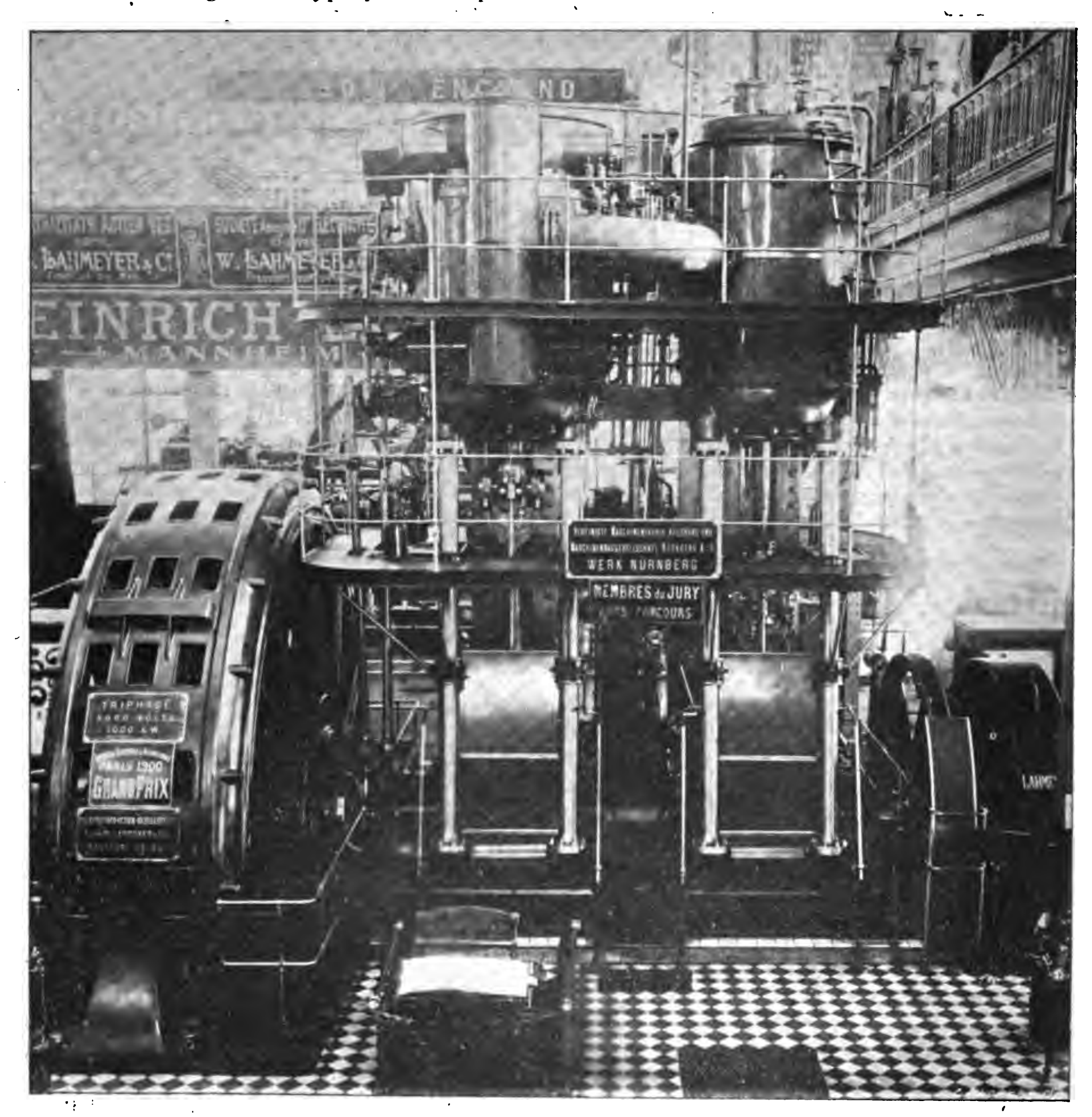


Fig. 1. — Groupe électrogène de 1 000 kilovolts-ampères de la Vereinigte Maschinenfabrik Augsburg und Maschinenbaugesellschaft Nürnberg et de l'Elektricitäts Actien-Gesellschaft vorm. W. Lahmeyer de Francfort-sur-le-Mein.

Les principales dimensions de la machine sont les suivantes :

Diamètre du cylindre à haute pression	86,5 cm
» » à basse pression	135 »
Course commune des pistons	110 »
Diamètre des pistons des pompes à air	67 »
Course des pistons des pompes à air	25 »

La vitesse angulaire est de 94 tours par minute et la pression de la vapeur de 10 kg : cm². A cette vitesse et à cette pression la machine peut développer normalement une puissance effective de 1 400 chevaux.

L'ensemble du moteur repose sur une plaque de fondation en deux parties venues de fonte avec les quatre paliers de l'arbre moteur. Celui-ci est en une seule partie et est terminé à chacune de ses extrémités par un plateau d'accouplement servant à l'entraînement direct des arbres des dynamos.

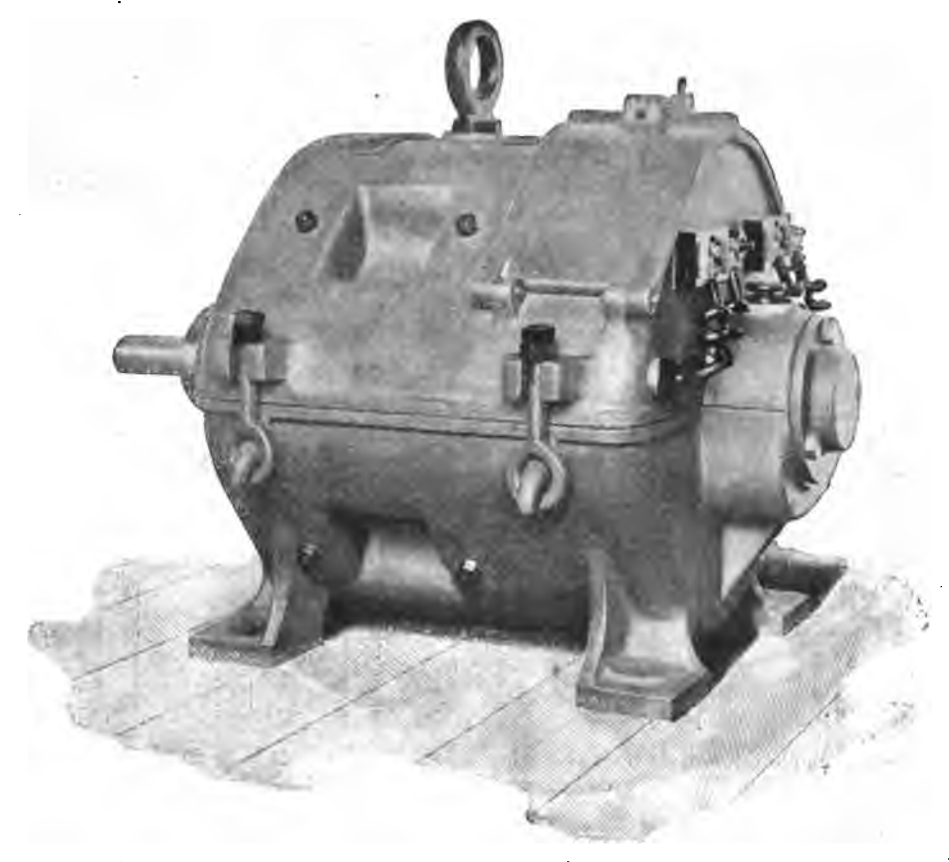


Fig. 23. — Moteur cuirassé de la Société anonyme d'Électricité de Francfort-sur-le-Mein ci-devant W. Lahmeyer et Cie.

Sur la plaque de fondation sont montées les glissières des crosses en forme de fourche, munies de couronnements supportés de chaque côté par deux colonnes en fer.

Les couronnements (réunis entre eux par des sommiers en fonte) reçoivent les cylindres auxquels ils sont boulonnés. Ces cylindres n'ont aucune liaison entre eux de façon à permettre librement leur dilatation.

Le cylindre à haute pression a seul une enveloppe de vapeur, celui à basse pression n'a que les fonds chauffés.

La distribution est faite par soupape tubulaire à double siège sur le petit cylindre et par tiroirs genre Corliss sur le gros cylindre.

La distribution est commandée par un arbre disposé horizontalement derrière les cylindres et mis en mouvement par des engrenages à dents hélicoïdales. Les soupapes d'admission sont commandées par un système à déclic actionné par un excentrique et



en relation directe avec le régulateur ; les soupapes d'échappement sont actionnées par des leviers de forme spéciale mus par des excentriques.

Les deux manivelles étant à 180° on a dû prévoir un dispositif spécial pour la mise au point. On a employé à ce sujet un petit volant avec denture sur lequel engraîne un pignon monté sur l'axe de la vis sans fin d'un renvoi commandé par un moteur électrique.

Ce moteur, du type cuirassé, est représenté sur la figure 2. Sa puissance est de 7 chevaux à 700 tours et il fonctionne à la tension de 220 volts.

Le pignon engrenant avec le volant est à contrepoids et se renverse, lorsqu'on fait démarrer la machine avec le petit moteur, dès que la vitesse a atteint une certaine valeur.

Les deux pompes à air, mises en mouvement par des balanciers commandés par les

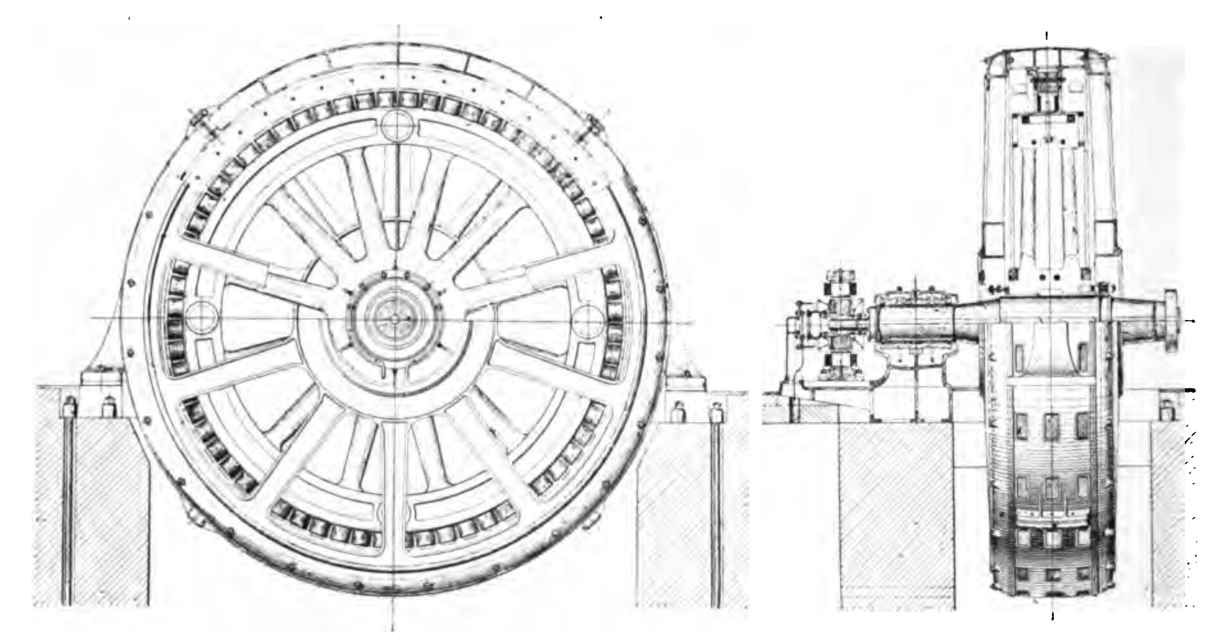


Fig. 3 et 4. — Vue en élévation et de bout avec coupes de l'alternateur de la Société anonyme d'électricité de Francfort-sur-le-Mein.

crosses des deux pistons, sont montées derrière la machine ; elles sont à aspiration double et à refoulement simple. La condensation se fait par mélange.

Le service de la machine se fait de la galerie inférieure où se trouvent tous les organes nécessaires à la mise en route et à l'arrêt ainsi que les appareils de contrôle et de mesure.

En cas d'accident, on peut, sans recourir à la fermeture de la soupape de prise de vapeur arrêter la machine très rapidement au moyen d'un levier dégageant les déclics des soupapes d'admission du petit cylindre.

Le graissage à circulation d'huile est assuré par une petite pompe actionnée par l'excentrique des distributeurs Corliss.

Le poids total de la machine à vapeur est de 120 tonnes.

Le volant constitué par l'inducteur de l'alternateur a un moment d'inertie de 1 000 000 kg-m².

ALTERNATEUR. — L'alternateur exposé par la Société d'Electricité ci-devant W. Lahmeyer et Cie est à courant triphasé ; il est identique à ceux déjà installés par cette Société

à la station centrale de Essen-sur-la-Ruhr. Sa puissance est de 1 000 kilovolts-ampères avec un facteur de puissance de 0,70 au minimum.

La tension aux bornes est de 5 000 volts et la tension par phase, l'induit étant groupé en étoile, de 2 885 volts. L'intensité du courant par phase est ainsi de 115 ampères.

La fréquence est de 50 périodes et correspond, à la vitesse de 94 tours, à un nombre de pôles de 64.

L'alternateur Lahmeyer a une forme extérieure assez originale qui le distingue des formes communément adoptées. Il a été étudié spécialement en vue d'avoir une très faible chute de tension, résultat obtenu en saturant fortement les électros.

Les figures 3 et 4 sont des croquis d'ensemble avec coupes partielles, les coupes à plus grande échelle de l'induit et de l'inducteur par l'axe et perpendiculairement à l'axe ont été représentées à part sur les figures 5 et 6.

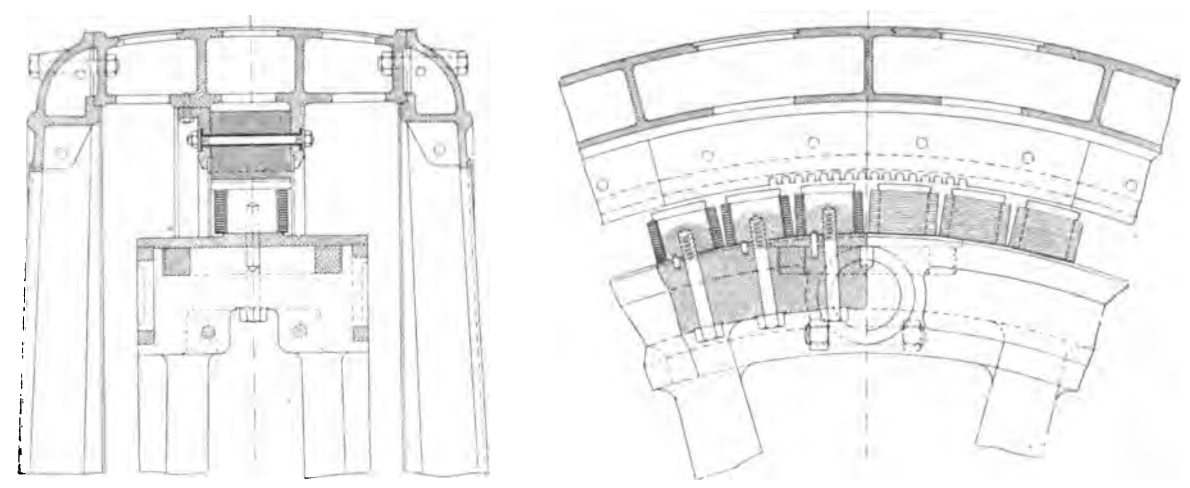


Fig. 5 et 6. — Coupes et vues d'une partie de l'induit et de l'inducteur de l'alternateur W. Lahmeyer et Cie de Francfort-sur-le-Mein.

Inducteur. — L'inducteur est formé d'un lourd volant en fonte, en quatre parties assemblées au moyen de boulons et par deux frettes en fer forgé posées à chaud sur les quatre parties du moyeu. A la jante, l'assemblage est fait par des frettes circulaires en fer forgé à raison de trois par joints ; deux de ces frettes sont disposées dans des gorges pratiquées sur les deux faces du volant et la troisième, de dimensions plus fortes, à la surface même de la jante. Cette dernière frette une fois posée dans son logement est recouverte d'une plaque de fonte arrondie extérieurement et serrée sur la jante par les boulons servant à la fixation des pôles qui se trouvent à l'endroit du joint.

Les 64 pôles inducteurs fixés à la jante par des boulons goupillés la traversant ainsi tout entière ont leurs noyaux circulaires en acier coulé ; leur diamètre est de 18 cm environ. Les épanouissements polaires sont massifs et en fer forgé et la production exagérée de courants de Foucault dans leur masse y a été réduite en dimensionnant convenablement l'entrefer et en donnant une forme spéciale aux encoches de façon à obtenir une répartition homogène du flux.

La rotation des noyaux autour de leur axe est empêchée par un petit ergot.

La figure 7 représente une photographie montrant deux quarts du volant sans leurs pôles inducteurs.

Le diamètre extérieur de la jante est de 5,30 m environ et sa largeur de 85 cm.



Le diamètre à l'extrémité des pièces polaires est de 5,784 m. La largeur de celle-ci parallèlement à l'axe est de 30 cm, et celle dans un plan perpendiculaire à l'axe égale aux deux tiers du pas, soit 19 cm environ. La surface des pièces polaires est donc de 370 cm^2 environ.

Les bobines inductrices sont constituées à l'aide d'une bande de cuivre enroulée sur champ ; les spires ainsi formées, au nombre de 34 par bobine, sont isolées entre elles au papier mâché.

Fig. 7. — Vue d'une partie d'un hall de montage des ateliers de MM. W. Lahmeyer et Cie montrant une moitié du volant, sans les pôles inducteurs, ainsi que la carcasse de l'induit de l'alternateur de 1 000 kilovolts-ampères exposé à Paris.

Toutes les bobines inductrices sont réunies en série et le circuit ainsi formé aboutit à deux bagues de prise de courant en acier montées sur l'arbre de la dynamo.

La résistance du circuit inducteur est de 0,25 ohm.

L'arbre de l'alternateur est couplé rigidement à celui du moteur à vapeur, et n'est soutenu que par un seul palier,

L'entraînement se fait par deux clavettes à 90°.

Le poids de l'inducteur sans l'arbre est de 54 000 kg et son rayon de giration de 2,365 m.

La vitesse tangentielle à la circonférence extérieure du volant atteint 28,5 m par seconde.

Induit. — La carcasse de l'induit est constituée par une caisse cloisonnée, formée de deux parties cylindriques concentriques réunies par des nervures et présentant de nombreuses ouvertures pour la ventilation.

Cette caisse porte, venue de fonte avec elle, un anneau sur lequel s'appuient les tôles induites serrées contre cet anneau par des cornières cintrées fixées à la caisse et par des boulons isolés.

Fig. 8. — Vue de l'induit de l'alternateur avant bobinage dans l'un des halls de montage des ateliers de la Société anonyme d'électricité de Francfort-sur-le-Mein.

La carcasse induite est fondue en quatre parties assemblées dans deux plans inclinés à 45°, par des boulons à raison de trois par joint.

Deux des quarts d'induit portent des projections par lesquelles la machine repose sur les plaques de fondation.

Sur les côtés de la machine sont boulonnés deux protecteurs chacun en deux parties et formés de deux couronnes concentriques réunies par dix bras nervurés. Les flasques ainsi formées donnent une grande rigidité à l'induit et empêchent toute déformation.

L'ensemble de l'induit monté, mais sans bobinage, est représenté sur la figure 8 prise dans l'un des halls de montage de la Société anonyme d'Electricité.



Le diamètre extérieur de la carcasse induite est de 6,92 m et sa largeur totale maxima de 1,60 m.

Le diamètre intérieur de l'induit est de 5,800 m ce qui laisse un entrefer de 8 mm. La largeur totale des tôles induites est de 30 centimètres.

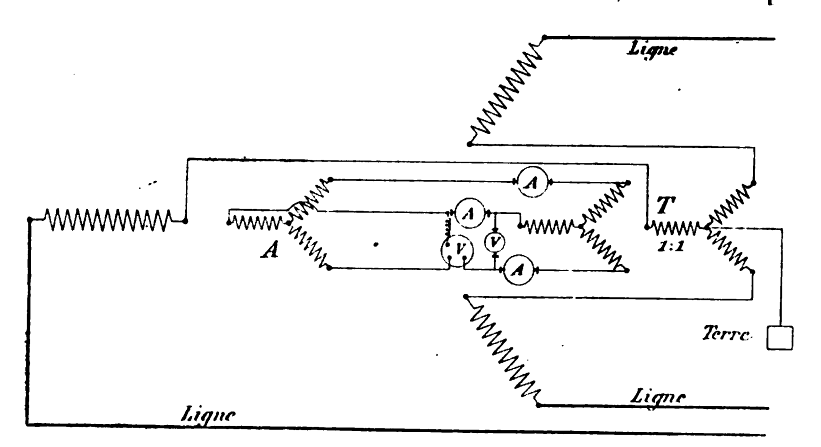


Fig. 9. — Schéma du dispositif de connexions des appareils de mesure dans l'alternateur de 1 000 kilovolts-ampères de la Société anonyme d'électricité de Francfort-sur-le-Mein.

L'enroulement induit est logé dans des encoches de forme circulaire et très légèrement ouvertes de façon à obtenir une distribution suffisamment homogène du flux dans l'entrefer et à réduire au minimum les pertes par hystérésis et par courants de Foucault dans les dents. Ces encoches sont au nombre de 6 par pôle soit 384 pour toute la surface de l'induit, elles sont munies de tubes de micanite sans joint.

L'enroulement induit est un bobinage triphasé ordinaire avec 4 encoches par phase et par paire de pôles. Les 32 bobines de chaque phase sont formées de deux parties concentriques.

Chaque bobine complète comporte 12 spires, formées de plusieurs fils en parallèle ; le nombre de conducteurs distincts par encoche est donc de 6.

Les trois phases sont groupées en étoile et la résistance de chacune d'elle est de 0,34 ohm.

Le poids de l'induit avec ses plaques de fondation est de 55 000 kg.

Excitatrice. — L'excitatrice calée sur l'arbre est montée en porte-à-faux.

C'est une dynamo de 17 000 watts sous 65 volts au maximum. Elle a 6 pôles et est excitée en dérivation.

L'inducteur est en acier coulé, son diamètre extérieur est de 141 cm et sa largeur de 32,5 cm, le diamètre d'alésage de l'inducteur est de 72 cm.

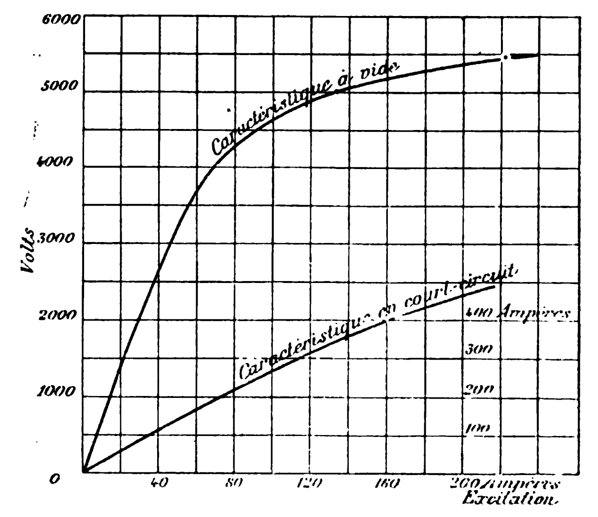


Fig. 10. — Caractéristique de l'alternateur de 1 000 kilovolts-ampères de MM. Lahmeyer et Cie de Francfort-sur-le-Mein.

L'induit denté est enroulé en tambour multipolaire série ; le collecteur a une largeur utile de 9,3 cm et un diamètre de 45,3 cm. Le nombre de lames est de 104.

Tableau de distribution. — Le tableau de distribution ne présente aucune particularité spéciale. C'est un panneau en marbre placé sur une face latérale d'une cabine constituée par des cornières et dont les autres faces sont revêtues d'un grillage.

Ce tableau contient un voltmètre et trois ampèremètres un pour chacune des phases de l'alternateur, un wattmètre et un ampèremètre pour le circuit d'excitation de l'alternateur.

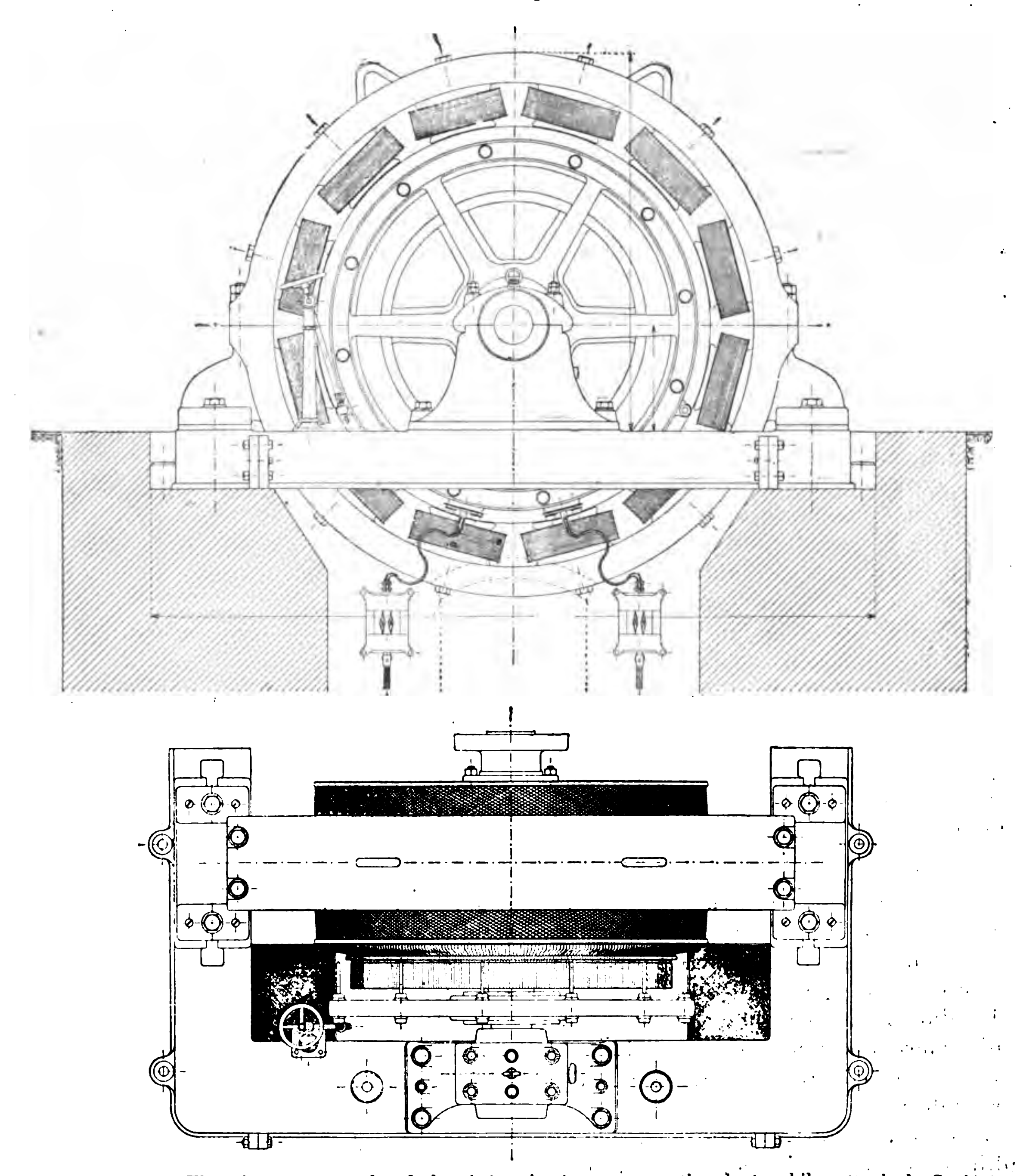


Fig. 11 et 12. — Elévation et vue en plan de la génératrice à courant continu de 400 kilowatts de la Société anonyme d'électricité de Francfort-sur-le-Mein.

A l'intérieur de la cabine sont placés les shunts des ampèremètres, l'interrupteur tripolaire et le rhéostat d'excitation de l'excitatrice ; ces deux derniers appareils sont maniables du dehors.

***

Disons en passant que, pour éviter des pertes d'énergie inutiles, le réglage de la tension aux bornes de l'alternateur se fait uniquement par celui de la tension aux bornes de l'excitatrice à l'aide du rhéostat de champ de cette dernière sans interposition de résistance en série avec l'inducteur de l'alternateur.

Un point particulièrement intéressant dans les connexions des appareils de mesure avec l'alternateur, c'est qu'aucun appareil n'est en relation avec les circuits à haute tension.

Le dispositif employé par la Société anonyme d'électricité ci-devant Lahmeyer et Cie et breveté récemment par elle est des plus ingénieux. Il consiste comme le montre schématiquement la fig. 9 à séparer du circuit de chaque phase, à partir du point de jonction des trois phases, un certain nombre de spires de l'induit, une seule des bobines élémentaires 1/64 de l'enroulement par exemple, et à connecter le circuit étoilé ainsi formé avec le primaire d'un petit transformateur triphasé dont le rapport de transformation est égal à l'unité et dont la puissance est, avec celle de la dynamo, dans le même rapport que le nombre de spires séparées sur une phase au nombre total de spires par phase.

C'est sur les conducteurs de jonction du circuit isolé au primaire du transformateur que se trouvent les appareils de mesure, un voltmètre entre deux des conducteurs, un ampèremètre sur chaque phase et un wattmètre sur l'une des phases avec connection du fil fin au point neutre.

Le secondaire du transformateur est réuni en série avec les phases tronquées de l'alternateur et son point neutre est mis à la terre.

On voit facilement, qu'avec ce montage, l'intensité du courant dans le primaire est sensiblement la même que celle dans le secondaire, c'est-à-dire dans l'enroulement de l'alternateur et que la tension y est proportionnelle à la tension totale.

Cette disposition des appareils de mesure a déjà été appliquée par la maison Lahmeyer à un grand nombre de machines et des essais très soigneux ont été faits pour vérifier que l'exactitude des mesures n'est pas amoindrie par l'emploi de ce dispositif et que les petites irrégularités de l'entrefer n'ont aucune influence.

Résultats d'essais. — Nous avons représenté sur la figure 10 les caractéristiques à vide et en court-circuit de l'alternateur de la Société anonyme d'Électricité ; elles montrent bien que la saturation y est très forte et que le point correspondant à la marche à vide est juste au-dessus du coude.

L'intensité du courant d'excitation pour obtenir 5 000 volts aux bornes à vide à la fréquence de 50 périodes par seconde est de 132 ampères.

L'intensité du courant d'excitation pour obtenir en court-circuit l'intensité normale de débit dans l'induit est de 43 ampères et correspond à une tension induite égale environ au tiers de la tension normale aux bornes.

En charge de 1 000 kilowatts avec un facteur de puissance égal à l'unité le courant d'excitation est d'environ 155 ampères.

Dans ces conditions le rendement électrique est de 95,3 p. 100.

Les pertes d'énergie sont alors les suivantes :

Pertes par effet Joule dans l'induit	13700 watts.
» par courants de Foucault et hystérésis dans l'induit . .	13100 »
» » » dans les dents .	9100 »
» par effet Joule dans l'inducteur	13800 »
Total.	49700 watts.

En cas de décharge brusque et sans variation de vitesse la tension augmente seulement de 6 p. 100.



Dynamo a courant continu. — La dynamo à courant continu de la Société anonyme d'électricité de Francfort-sur-le-Mein est montée du côté opposé à l'alternateur.

La puissance normale de cette machine est de 350 kilowatts à 94 tours avec une tension aux bornes de 550 volts et un débit par suite de 650 ampères. Toutefois la machine peut faire facilement en service courant 400 kilowatts à la même tension avec un débit de 750 ampères.

Cette dynamo dont de nombreux exemplaires existent déjà dans diverses stations d'Allemagne est une machine shunt et est destinée à la traction. Les figures 11 à 14 en donnent différentes vues et une coupe par l'axe.

Fig. 13 et 14. — Vue de bout et coupe par l'axe de la génératrice à courant continu de 400 kilowatts de MM. W. Lahmeyer et Cie de Francfort-sur-le-Mein.

Inducteur. — La carcasse inductrice en fonte est en deux parties ; les noyaux polaires à sections circulaires en acier coulé, sont au nombre de douze et sont fixés chacun à l'aide de deux vis.

Les épanouissements polaires sont venus de fonte avec les noyaux. La partie inférieure de la carcasse repose par deux pattes sur les fondations.

Le diamètre extérieur de la carcasse est de 330 cm environ et sa largeur de 53 cm. Le diamètre d'alésage de l'inducteur est de 241,4 cm et la largeur utile de la machine parallèlement à l'axe de 42 cm environ.

Les bobines inductrices comprenant chacune 1 173 spires, sont toutes montées en série ; l'ensemble a une résistance de 47 ohms à chaud.

Le poids de la partie fixe, inducteurs et palier, est d'environ 19 000 kg.

Induit. — L'induit a son noyau en tôle mince monté sur une carcasse en fonte et serré



par un dispositif analogue à celui employé pour l'alternateur, c'est-à-dire entre un disque venu de fonte avec la lanterne et une cornière cintrée. Le croisillon de l'induit est serré sur l'arbre par deux frettes en fer forgé posées à chaud.

Le diamètre de l'induit est de 240 cm et sa largeur de 42 cm. L'entrefer est de 7 mm.

L'enroulement en tambour multipolaire est groupé en quantité : il est du genre Mordey [1] signalé plusieurs fois dans cette revue.

Ce dispositif est adopté pour éviter le décalage des balais, sans avoir d'étincelles au collecteur quelle que soit la charge et la tension.

L'enroulement induit est réparti dans 609 rainures dans lesquelles sont logées l'une au-dessus de l'autre deux lames de cuivre isolées du fer par des caniveaux en micanite.

Les diverses spires sont faites sur gabarit de façon à réduire au minimum le nombre de soudures.

L'induit n'est pas fretté avec l'aide de cerclages comme on le fait ordinairement, mais les conducteurs sont maintenus dans les rainures à l'aide de segments de laiton vissés dans les tôles. On peut ainsi sans rien démonter remplacer un conducteur quelconque en dévissant uniquement le segment qui le retient.

Le collecteur en cuivre étiré comporte 609 lames isolées entre elles au mica ; son diamètre est de 200 cm et sa largeur utile de 15 cm environ.



Fig. 15. — Transformateur triphasé de la Société anonyme d'électricité ci-devant W. Lahmeyer et Cie de Francfort-sur-le-Mein.

Les tiges de balais sont fixées sur deux segments, portés par une couronne à section en forme de double T, et sont isolées à l'aide de lamelles d'ambroïne. Les écrous extérieurs des porte-balais sont eux-mêmes isolés par des chapeaux en ambroïne.

Les balais sont en charbon à raison de trois par ligne.

La résistance de l'induit entre balais est de 0,022 ohm.

L'induit n'est supporté que par un seul palier et son arbre est manchonné rigidement sur celui de la machine à vapeur ; le poids de l'induit tout monté est de 12 000 kg.

Résultats d'essais. — La dynamo à courant continu de la Société anonyme d'électricité de Francfort-sur-le-Mein peut supporter les fortes surcharges et les variations brusques de courant ou de tension qu'exige un service de traction, sans danger et sans décalage des balais ni étincelles.

(1) Voir l'article de M. Mordey « dans les Dynamos » *L'Éclairage Électrique*, t. XIII, p. 111, 1897.

A la tension de 440 volts à laquelle la dynamo fonctionne à l'Exposition, le décalage est toujours indépendant du débit.

La surélévation de température des enroulements est très faible ; en marche continue elle n'est que de 30° pour l'induit et 25° seulement pour les inducteurs.

Le courant d'excitation, pour obtenir la tension à vide, est de 9,5 ampères ; en charge de 350 kilowatts ce courant est de 10,4 ampères. La chute de tension est de 10 p. 100 environ.

Le rendement à pleine charge sous 550 volts est de 93,3 p. 100 ; les pertes sont d'environ 2 p. 100 dans l'induit, 1,5 p. 100 dans l'induction et de 3,2 pour la marche à vide, c'est-à-dire pour l'hystérésis, les courants de Foucault et les frottements dans le palier unique.

Transport et montage. — Le transport des génératrices a donné lieu à des difficultés particulières, principalement en ce qui concerne l'alternateur, par suite des dimensions des pièces. Les protecteurs de l'enroulement induit à cause de leur grandeur ont dû être aménagés spécialement sur un wagon pour pouvoir entrer dans les gabarits indiqués par le service de l'Exposition. La partie électrique complète du groupe a exigé l'emploi de 21 wagons.

Le montage, dirigé par M. Gino Dompieri, ingénieur représentant de la Société anonyme d'Électricité ci-devant Lahmeyer et Cie, a été exécuté très rapidement et le groupe mixte a été en mesure de fonctionner dès l'ouverture de l'Exposition.

L'alternateur Lahmeyer est affecté au service de l'éclairage du pont Alexandre III et de la grande Porte monumentale.

Pour cet usage, la tension est ramenée à 110 volts par des transformateurs à courants triphasés fournis également par la Société anonyme d'électricité de Francfort.

Ces appareils, au nombre de 33 sont de différentes puissances ; ce sont des transformateurs symétriques à noyaux. L'un d'eux est représenté sur la figure 15.

J. Reyval.

FREIN ELECTRO-HYDRAULIQUE DUREY[1]

La caractéristique de ce frein est l'utilisation de la puissance vive des véhicules en mouvement pour le serrage des sabots contre les roues de ces véhicules, la transmission de l'énergie s'effectuant au moyen d'un liquide sous pression et la commande se faisant électriquement.

Le dispositif de freinage proprement dit comprend (fig. 1) : un réservoir R contenant un liquide lubréfiant, une pompe P dont le piston est mu par l'essieu du véhicule, un réservoir A appelé accumulateur d'approche et enfin un cylindre de frein F contenant un piston dont la tige actionne la timonerie commandant les sabots. Un ensemble de ces divers appareils est disposé sous chacune des voitures d'un train.

L'installation électrique comprend une batterie d'accumulateurs B et un commutateur C placés sur l'une des voitures et une canalisation à trois conducteurs reliant au commutateur et à la batterie les deux solénoïdes E, E' commandant les soupapes *a*, *b*, *c*, de chaque appareil de freinage.

En marche normale la manette du commutateur est dans la position 1 et, en raison des positions des noyaux des solénoïdes à l'intérieur de ceux-ci, les soupapes *a* et *b* sont fermées tandis que la soupape *c* est ouverte. Dans ces conditions le mouvement de va-et-vient com-

[1] Exposé groupe VI, classe 32, Palais du Champ de Mars, côté Suffren.



muniqué au piston de la pompe P par l'essieu du véhicule a pour effets : 1° d'aspirer du réservoir R le liquide qui, soulevant la soupape d'aspiration S, se rend dans le corps de pompe ; 2° de faire passer ensuite ce liquide après soulèvement de la soupape S' dans la partie du corps de pompe située à droite du piston ; 3° enfin, de comprimer le liquide dans l'accumulateur A en le forçant à soulever la soupape *s*. Sous l'action de la pression exercée par le liquide le piston *p* est soulevé et bientôt, si l'on n'a pas occasion d'utiliser le liquide ainsi accumulé, la tige de ce piston soulève les soupapes S et S'. A partir de ce moment la pompe fonctionne à vide.

Lorsqu'on veut freiner on amène la manette du commutateur dans la position 4. Le

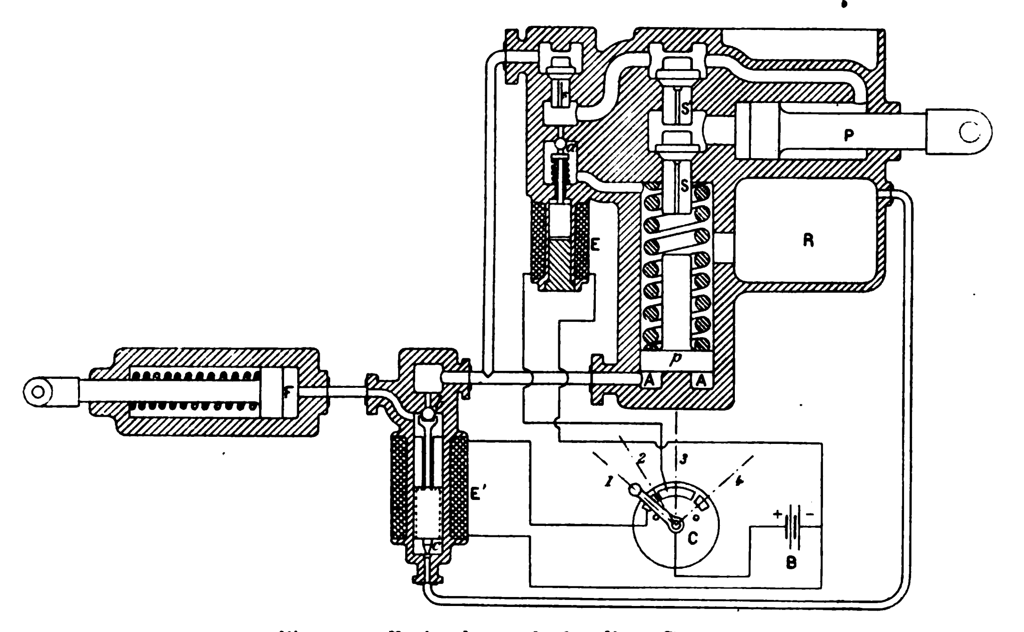


Fig. 1. — Frein électro-hydraulique Durey.

courant se trouvant ainsi rompu, le noyau de fer doux du solénoïde E' tombe sous l'effet de la pesanteur et la soupape *b* se trouve ouverte tandis que *c* se trouve fermée. Le liquide sous pression contenu dans l'accumulateur passe alors dans le cylindre de frein. En même temps le piston *p* ayant descendu sous l'action du fort ressort qui le presse et les soupapes S et S' étant libérées, la pompe envoie le liquide du réservoir R directement dans le cylindre de frein, l'accumulateur ne servant alors que d'organe élastique régularisant l'augmentation de pression. Les sabots se rapprochent donc des roues en exerçant sur celles-ci une pression graduellement croissante.

Si l'on veut maintenir cette pression constante pendant quelque temps il suffit de mettre la manettre du commutateur dans la position 3. Le circuit du solénoïde E' continue à être rompu, mais celui du solénoïde E est, au contraire, ouvert. L'attraction cherchée par ce dernier solénoïde sur son noyau ouvre la soupape *a* et le liquide refoulé par le jeu de la pompe revient dans le réservoir R. Le cylindre de frein ne recevant plus de liquide, le frottement des sabots demeure donc constant tant que la manette du commutateur est dans cette position.

En ramenant la manette dans la position 4 on opère un freinage de plus en plus énergique. En l'amenant dans la position 1 on produit au contraire le desserrage des freins, car la soupape *b* étant alors fermée à nouveau la pompe envoie le liquide comprimé dans l'ac-



cumulateur A en même temps qu'elle l'aspire du réservoir R et par conséquent du cylindre de frein F, l'ouverture de la soupape *c* ayant mis ces deux récipients en communication.

On voit par cette description que le frein est toujours prêt à fonctionner, la pression étant rétablie dans l'accumulateur par le jeu de la pompe dès que cette pression est tombée au-dessous d'une certaine limite. C'est évidemment là un avantage; mais si, au moment d'un démarrage ou d'une augmentation de vitesse la pression limite n'est pas atteinte, le travail dépensé par la pompe nuit à la rapidité du démarrage ou de l'augmentation de vitesse. C'est pourquoi on utilise encore une quatrième position de la manette, la position 2 pour laquelle le courant de la batterie est à la fois lancé dans le solénoïde E et le solénoïde E'. La soupape *a* est alors ouverte, *b* est fermée et *c* ouverte. Les positions de ces deux dernières soupapes permettent au cylindre de frein de se vider dans le réservoir et par conséquent de desserrer les sabots comme dans la position 1 de la manette; mais comme la soupape *a* est ouverte le liquide refoulé par la pompe n'est pas comprimé dans l'accumulateur de sorte que la pompe n'absorbe qu'un travail insignifiant.

Il est évident qu'appliqué à un train de plusieurs voitures, ce système de frein est automatique puisque toute rupture d'attelage entraîne la rupture du circuit électrique [1] et qu'alors le freinage se produit comme si la manette du commutateur était dans la position 4 correspondant au freinage. On peut même profiter du fait que le frein fonctionne par simple rupture d'un circuit pour remplacer les sonnettes d'alarme par un simple bouton interrupteur que le voyageur n'a qu'à pousser pour arrêter le train.

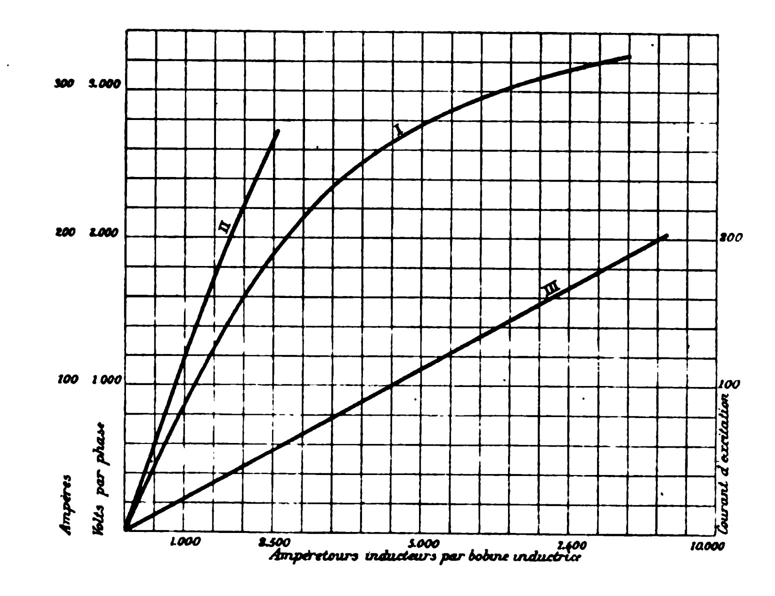


Fig. A. — Caractéristiques de l'alternateur de 1400 kilovolts-ampères de MM. Schneider et Cie [2].

I. Caractéristique à vide ;
II. Caractéristique en court-circuit ;
III. Correspondance du courant d'excitation et des ampère-tours inducteurs par bobine inductrice.

Ce dernier avantage n'est d'ailleurs pas le seul que l'inventeur revendique en faveur de son système sur les systèmes actuels à air comprimé. Parmi ces avantages bornons nous à signaler les suivants :

La pression des sabots sur les roues dépendant de la quantité de liquide refoulée dans

---

[1] Pour éviter la détérioration des câbles conducteurs, en cas de rupture d'attelage, les jonctions des extrémités des câbles de deux voitures sont disposées de telle sorte que ces extrémités se séparent d'elles-mêmes dès que les câbles deviennent horizontaux sous l'action d'une tension.

[2] Une erreur s'est également glissée dans l'échelle des ampères de débit dans la caractéristique en court-circuit de l'alternateur de M. Kolben, les ordonnées doivent être multipliées par le facteur 0,87.

le cylindre de frein et cette quantité pouvant être modifiée très rapidement, le freinage peut être réglé avec la plus grande facilité par le mécanicien [1].

En second lieu il suffit de munir l'appareil de freinage de leviers permettant de manœuvrer à la main les soupapes *a*, *b*, *c* pour qu'il soit possible d'utiliser le frein dans les manœuvres de wagon isolé, dans les gares de triage par exemple.

Si le fonctionnement du frein d'une voiture devient défectueux, le freinage des voitures qui la suivent n'en reste pas moins assuré, contrairement à ce qui a lieu trop souvent avec les freins à air. Si c'est le conducteur qui est en mauvais état, un conducteur volant peut y être facilement substitué provisoirement.

. L'emploi d'un conductenr volant permet aussi d'intercaler dans un train une ou plusieurs voitures non munies du système de freinage.

Enfin l'installation de ce système coûte moins cher que celle d'un système à air comprimé, elle peut être faite sans qu'il soit besoin de remplacer les timoneries existantes ; les frais d'entretien sont très faibles et les dépenses occasionnées par le fonctionnement sont nulles puisque l'énergie est empruntée à la puissance vive du véhicule [2]. J. Reyval.

APPAREILS DE MESURES-COMPTEURS

On sait que dans les appareils de mesures à pivot le frottement produit une incertitude dans les lectures ; pratiquement, lorsqu'on veut faire une mesure exacte on frappe de petits coups sur l'instrument pour que le système mobile prenne mieux sa position d'équilibre. C'est la réalisation automatique de ce moyen que cherchent Siemens et Halske Aktien Gesellschaft [3] et, pour cela, ils font simplement reposer l'axe vertical A, (fig. 1), sur un contrepivot H porté par un ressort vibrant F. L'axe recevant ainsi une série de secousses suivant sa direction, le frottement est diminué sans que les secousses impriment de mouvement dans le sens de la déviation.

Avec le courant continu l'entretien du mouvement vibratoire se fait au moyen d'un électro et d'un interrupteur, en ajoutant une résistance W, en dérivation sur l'électro, pour supprimer les étincelles de rupture. Avec le courant alternatif (fig. 2), l'interrupteur est supprimé, il suffit de faire le noyau de l'électro en lames de tôle, tandis que le bloc B est massif de façon à être le siège de courants de Foucault.

---

(1) Il convient toutefois, pour obtenir ce résultat, que la pression des sabots sur les roues soit à peu près la même pour toutes les voitures. Pour remplir cette condition, M. Durey a imaginé un dispositif de compensation automatique de l'usure des sabots, qu'il décrit ainsi :

La tige du piston de frein présente sur toute sa longueur des cannelures circulaires dans lesquelles vient se loger une bague de forme appropriée. Cette bague est sectionnée en quatre parties rapprochées et serrées contre la tige par un ressort circulaire. La bague ne peut ainsi glisser que difficilement sur la surface de la tige. Cette bague se meut entre deux butées constituées l'une par l'avant du cylindre de frein, l'autre par un diaphragme traversé par la tige.

L'adhérence de la bague sur la tige ne peut s'opposer à sa sortie, en raison de la pression exercée par l'appareil, mais empêche sa rentrée dans le cylindre au delà de la butée.

L'écartement des deux butées correspond à l'usure normale des sabots entre deux réglages.

Le remplacement des sabots usés se fait aisément par la poussée à fond dans son cylindre du piston du frein en forçant la bague à glisser sur la tige.

(2) Ainsi que nous le disons dans le dernier numéro, une erreur de cliché s'est produite dans la mise en pages de la description, publiée le 20 Octobre, de l'alternateur Schneider ; la figure A représente les caractéristiques de l'alternateur.

(3) Brevet anglais n° 8 140, déposé par Siemens brothers le 18 avril 1899, accepté le 20 mai 1899. 4 figures.



Pour les systèmes où l'axe est horizontal, il faut ajouter un second ressort F_1 (fig. 3), à l'extrémité opposée de l'axe, de façon à renvoyer toujours celui-ci vers F. Enfin un système équivalent consiste à faire vibrer la chape G dans laquelle repose le pivot (fig. 4).

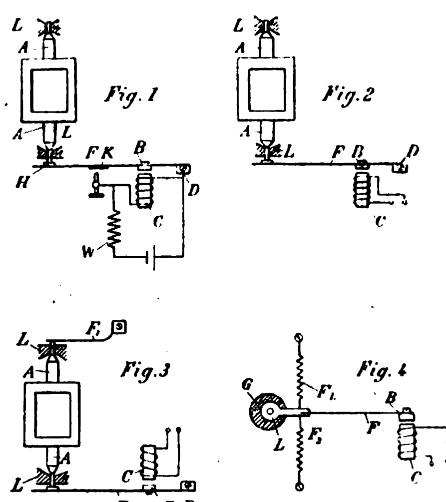


Fig. 1, 2, 3 et 4. — Dispositif Siemens et Halske pour détruire l'effet des frottements.

Dans le compteur de temps de JEAN VILLY (1) un seul mouvement d'horlogerie (fig. 5), actionne, par le moyen des roues 16, 16_1, 16_2, 16_3, un nombre quelconque d'enregistreurs indépendants; ceux-ci avancent avec le pendule tant que le courant passe dans le circuit correspondant. Dans l'appareil de la figure 5, il y a 6 circuits indépendants, chacun renferme un électro d'embrayage 8 et les rouages nécessaires à l'enregistrement sur 3 cadrans : centaines, dizaines et unités.

La roue 16 conduit la roue 3 (fig. 6 et 7), qui est montée sur un manchon 5, fou sur l'axe 2. Une roue 4, à denture latérale, est solidaire de 3. Quand le courant passe dans le circuit correspondant, l'électro 8 attire l'armature 12 et fait fléchir le levier à ressort 9; celui-ci fait avancer le manchon 6 sur l'arbre 2 et la palette 17 vient s'engager dans la denture de la roue 4. Comme le manchon 6 est tenu sur l'arbre 2 par une goupille placée dans une rainure hélicoïdale, l'arbre est entraîné dès que la palette est en prise avec la roue 4, ce qui fait avancer les rouages du compteur. Dès que le courant cesse de passer dans le circuit, l'armature, rappelée par le ressort 13, fait reculer le manchon 6 et la palette 17_1 vient s'engager dans la denture fixe de la roue 7, ce qui immobilise l'arbre 2.

Le mouvement des roues 3_1 et 3_2 au lieu d'être continu comme précédemment peut être intermittent, la roue 3_1 avançant d'une dent pour un tour complet de 3; ce résultat est obtenu à l'aide de roues étoilées (fig. 8 et 9).

La liaison de l'arbre 2 au manchon 6, obtenue par la rainure et la goupille (fig. 7), peut être supprimée. Dans ce cas l'arbre 2 (fig. 10), porte deux roues dentées, 4_1 et 7_1, concentriques et intérieures à 4 et 7. Suivant que l'une ou l'autre des palettes 17 et 17_1 est engagée, la liaison est établie, dent à dent, entre 4 et 4_1 ou 7 et 7_1 : l'arbre avance ou est immobilisé.

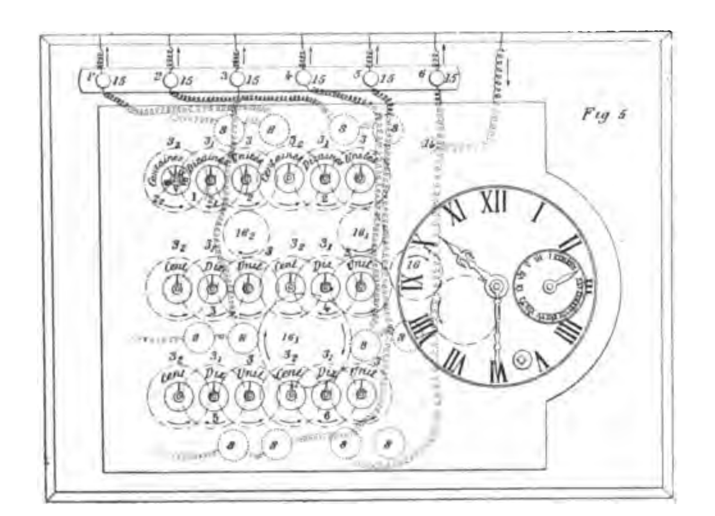
Dans une autre variante l'armature de l'électro fait osciller une sorte de levier coudé 21 (fig. 11 et 12), dont une des extrémités porte un pignon 22 et l'autre une pièce 23, munie d'une seule dent 24. La roue 3 étant conduite par le mouvement d'horlogerie et étant folle sur l'axe 2, si l'électro attire l'armature, le pignon 22 vient s'engager dans les roues 3 et 25, de sorte que cette dernière, qui est solidaire de l'axe 2, fait avancer le compteur. Quand l'électro cesse d'agir, le pignon 22 est débrayé et la dent 24 vient immobiliser le compteur.

L'indicateur de maximum de HANS OTTO SWOBODA (2) est un appareil thermique dans lequel le courant à mesurer traverse une bande de platinoïde, ou autre alliage, et l'échauffe, D (fig. 13, 14 et 15). Cette bande est fixée à l'axe F qui lui transmet la tension d'un ressort I,

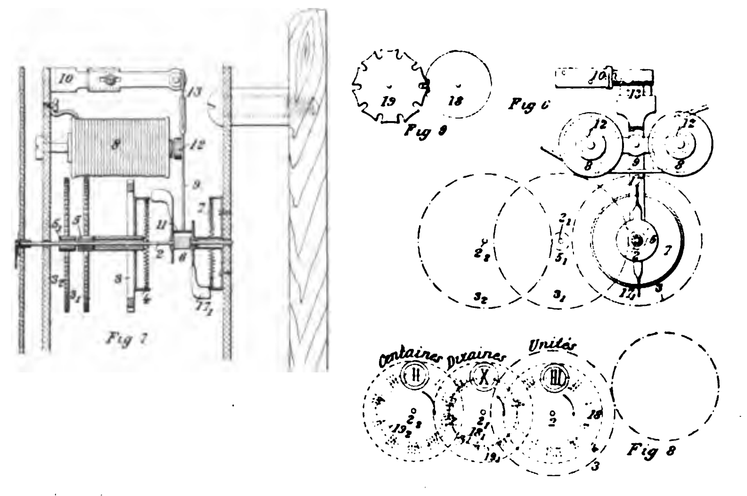
(1) Brevet anglais n° 15944, déposé le 21 juillet 1898, accepté le 1er juillet 1899. 10 figures.

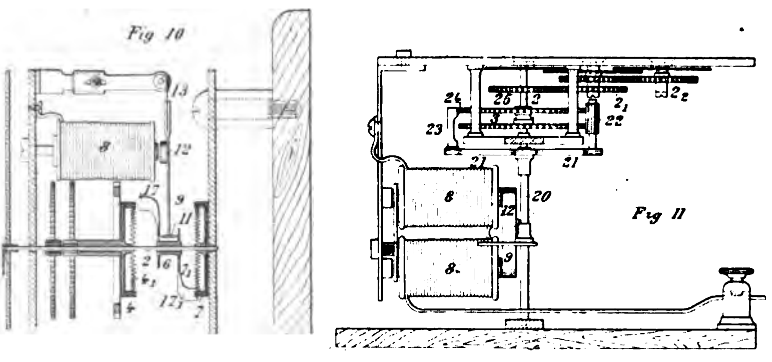
(2) Brevet anglais n° 10340, déposé le 16 mai 1899, accepté le 24 juin 1899. 3 figures.

par l'intermédiaire du levier K. Par suite de la dilatation de la bande, le ressort I fait tourner l'axe F et celui-ci à son tour pousse l'index II à l'aide du levier G; comme l'index est libre sur l'axe, il reste à la position où l'a amené le levier G et il indique ainsi le courant maximum qui a passé dans l'appareil. Un cadran divisé C complète l'instrument. Pour compenser l'erreur de température causée par la dilatation du support A, la bande est portée par une pièce métallique N (fig. 15), dont la dilatation totale est égale à celle du ruban D.



Le dispositif de G. C. Pillinger [1] a pour but de faciliter l'emploi des tarifs proportionnels; il s'ajoute aux compteurs existants pour leur permettre d'enregistrer séparément la consommation d'électricité quand l'intensité a dépassé une certaine valeur fixée à l'avance. Deux rouages avec cadrans B_1 B_2 (fig. 16 et 17), sont liés d'une façon rigide aux extrémités d'un fléau A; celui-ci oscille autour d'un point A_2 choisi de telle sorte que le rouage correspondant au faible





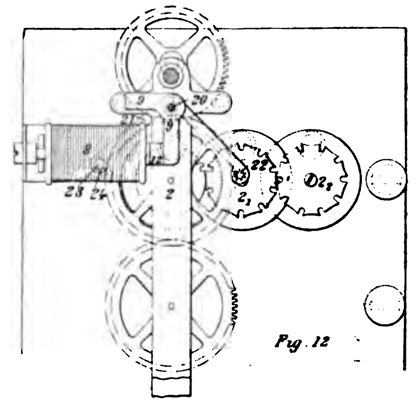


Fig. 5 à 12. — Ensemble, vue de côté, détails et variantes du compteur de temps Villy.

débit soit toujours en prise avec la vis sans fin du compteur. Le courant à mesurer passe

(1) Brevet anglais n° 10618, déposé le 10 mai 1898, accepté le 18 mars 1899. 3 figures.

dans un solénoïde D et attire le noyau D_1; quand le courant atteint la valeur à partir de laquelle le tarif change, le noyau plonge dans le solénoïde en entraînant un petit fléau E qui fait basculer le fléau A et met le second rouage, B_2, en prise avec la vis C.

Pour éviter que le fléau A reste dans une position intermédiaire, dans laquelle les deux rouages seraient libérés de la vis, on peut faire le petit fléau E en deux parties, articulées au même point J, mais reliées seulement par l'ergot E_3 (fig. 18), et l'encoche E_4; de plus un ressort G empêche le fléau de rester dans la position intermédiaire. Dans ces conditions la partie E_5 du fléau ne peut se déplacer que quand le noyau D_1 a dépassé une certaine position.

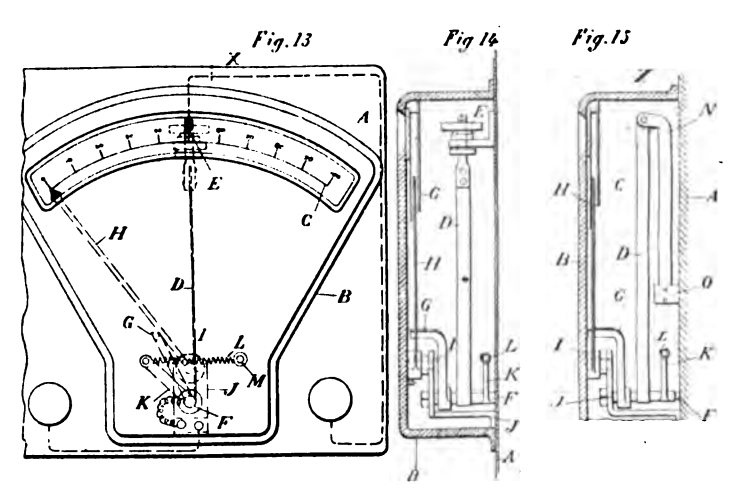


Fig. 13, 14 et 15. — Plan, coupe verticale et variantes de l'indicateur de maximum Swoboda.

Le mécanisme de LUDWIG ZAHN [1] peut s'appliquer à un compteur quelconque, il a pour but de changer la vitesse d'enregistrement, non plus quand l'intensité a dépassé une certaine limite, ainsi que dans le brevet précédent, mais à certaines heures de la journée ; ceci a pour but, comme on le sait, de favoriser l'emploi de l'électricité aux heures où les usines génératrices sont peu chargées.

Une horloge additionnelle fait faire un tour en 24 heures à un disque *a* (fig. 19 et 20), percé de trous représentant les heures et les demies. Des boutons *c e*, introduits dans les trous correspondants aux heures de changement de tarif, viennent accrocher les dents d'une roue étoilée *f*, de sorte qu'à chaque rencontre d'un bouton la roue *f* avance d'une dent. Derrière *f* se trouve une came *h* qui soulève ou abandonne alternativement le levier *l*, oscillant autour de *k*. Quand *l* retombe au fond d'une encoche *h* de la came, les rouages du compteur occupent la position de la figure 20 : l'axe creux *n* est solidaire de la roue *r* grâce à l'embrayage *q* qui relie les deux parties de *n* ; par suite de cette disposition le mouvement du compteur est transmis au rouage totalisateur à la vitesse même de l'arbre *n*, c'est-à-dire lentement ;

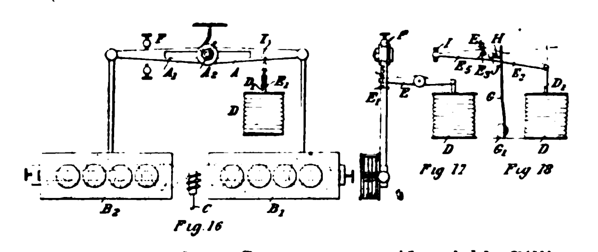


Fig. 16, 17 et 18. — Compteur à tarif variable Pillinger.

cette position correspond à la période où l'énergie est tarifée moins cher. Quand, au contraire, le second bouton vient entraîner la roue étoilée, la came soulève *l* et l'extrémité opposée de ce levier, appuyant sur la roue *r*, combat l'action du ressort *x*, l'axe creux *n* est séparé en 2 parties réunies seulement par le système différentiel *p v u s* (fig. 21) ; grâce à cette disposition, la vitesse de la roue *r* peut être aussi grande qu'on le veut, par rapport à celle de *n*, et le compteur est susceptible d'enregistrer à deux prix différents. Le cliquet *i* (fig. 22), a pour but d'assurer le passage rapide de l'une à l'autre des vitesses :

[1] Brevet anglais n° 4845, déposé le 6 mars 1899, accepté le 22 juillet 1899. 4 figures.

dès que le bouton *c* ou *e*, a suffisamment fait tourner la roue étoilée, le cliquet est soulevé et retombe presque aussitôt entre les deux dents suivantes.

Pour obtenir le même résultat que ci-dessus, HERMANN ARON et ARON ELECTRICITY METER LIMITED (1) emploient deux séries de cadrans, l'une pour enregistrer pendant les heures de tarif réduit, l'autre pendant le temps de tarif normal. Le mécanisme par lequel s'effectue le passage d'une série de cadrans à l'autre, consiste en un mouvement d'horlogerie dont un des mobiles, *d* (fig. 23), commande deux roues gg_1, de façon à leur faire faire un tour en

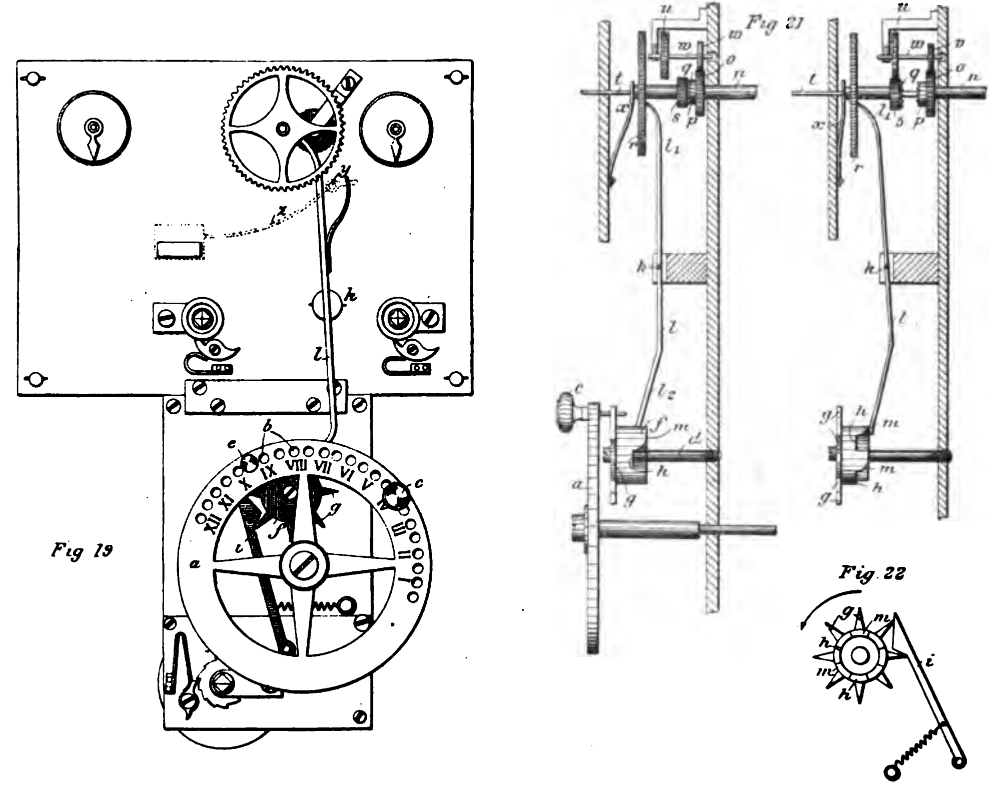


Fig. 19, 20, 21 et 22. — Détails du compteur à tarif variable Zahn.

24 heures. Ces roues gg_1 sont montées chacune sur un des manchons kk_1, fous sur les axes fixes hh_1 (fig. 24); des rainures *i*, pratiquées dans les manchons, reçoivent l'extrémité des leviers ll_1. Les manchons kk_1 sont poussés vers les parties fixes nn_1 par des ressorts pp_1, mais ces parties fixes portent des saillies mm_1 qui empêchent le rapprochement, sauf au moment où les encoches des manchons passent en face ; à cet instant seulement les manchons viennent s'appliquer contre les pièces fixes nn_1, faisant avancer tout le système et entraînant aussi le levier correspondant, *l* ou l_1. L'extrémité inférieure de ce levier vient alors appuyer sur un levier à trois branches S, pivotant sur l'axe *t*, de sorte que le bras u_1 de S (fig. 26), entraîne la manivelle *w*, (fig. 23), à laquelle est fixée une bielle *y*. Le mouvement est ainsi transmis à une seconde manivelle L qui entraîne à son tour l'inclinaison d'un fléau D muni de trois roues EFG. La roue F qui est sur l'axe du fléau est commandée par le compteur et elle transmet son mouvement aux deux roues FG ; selon l'incli-

(1) Brevet anglais n° 7 277, déposé le 6 avril 1899, accepté le 6 mai 1899. 5 figures.



naison de D, l'un ou l'autre des rouages totalisateurs se trouve en prise avec le compteur.

Quand le second manchon rencontre à son tour la saillie fixe n_1, il pousse le levier l_1 et la bielle y, ramenée en arrière, fait basculer le fléau D, changeant ainsi le rouage en prise

Les pièces fixes n sont munies de manettes o ou o_1, que l'on peut amener devant les heures choisies indiquées par deux cadrans spéciaux ; par cette disposition les saillies nn_1 sont placées aux points convenables pour faire les changements de cadrans nécessaires. L'avance des roues gg_1, et de leurs manchons, ne dure que le temps du passage de la saillie n_1, mais les leviers ll_1 peuvent revenir en arrière de sorte que la bielle y reste en place jusqu'à ce que la rencontre de la saillie de l'autre manchon renverse l'ordre de choses. Un index, placé sur la manivelle L_1 montre, à chaque instant, la série de cadrans qui est utilisée.

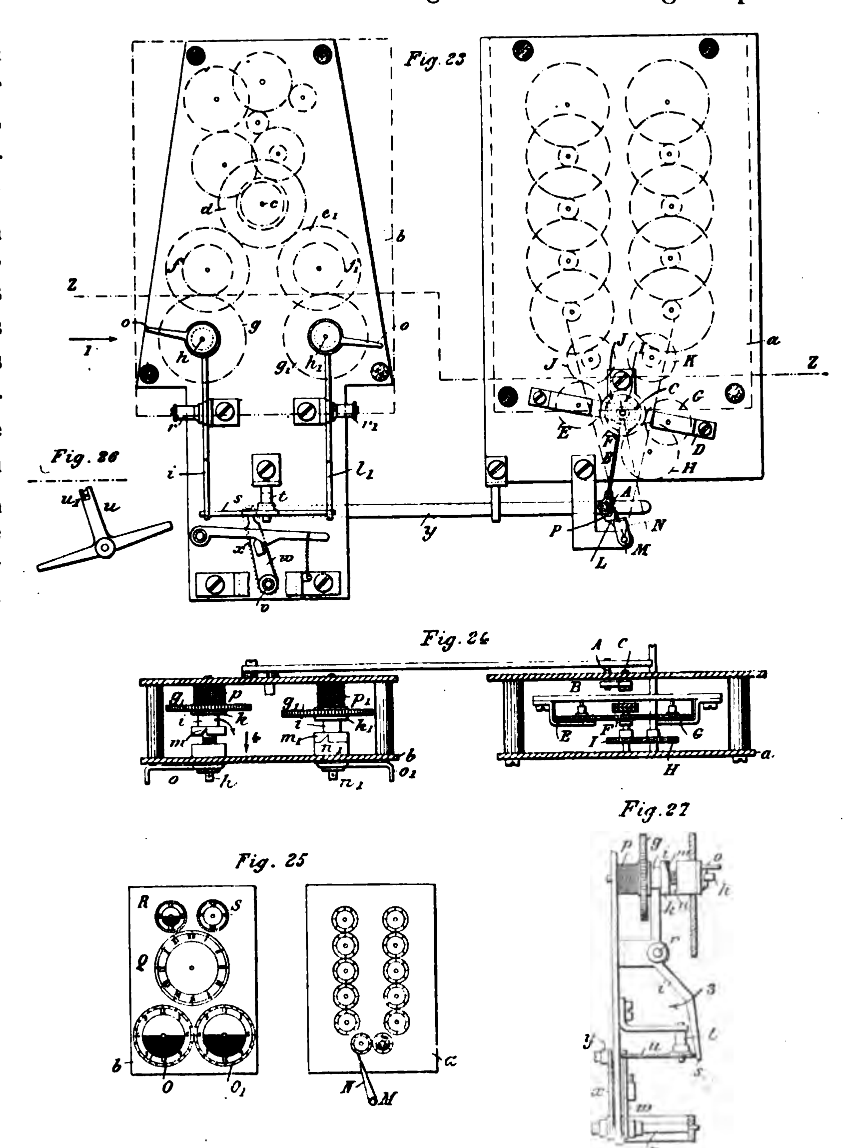


Fig. 23, 24, 25, 26 et 27. — Détails du compteur à tarif variable Aron.

Le mécanisme de Ch. W. Scott Crawley (1) s'adapte à un compteur déjà breveté par le même (2). Le compteur fait mouvoir la vis r_1 (fig. 28 et 29), sur laquelle se trouve l'écrou denté r ; celui-ci engrène avec un pignon q le long duquel il peut glisser, de sorte qu'il avance proportionnellement à la dépense d'énergie électrique. Dès que l'écrou r arrive à l'extrémité de la course, à droite de la figure 29, il appuie sur le levier coudé v_1, celui-ci dégage l'interrupteur u_1 qui, aussitôt rappelé par le ressort w_1 rompt le circuit. Pour rétablir le courant, il faut ramener le courant r vers la gauche, ce qui ne peut se faire que si une pièce de monnaie appropriée a été introduite dans la fente a, d'où elle est tombée dans

(1) Brevet anglais n° 19621, déposé le 15 septembre 1898, accepté le 17 juin 1899.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. XXI, p. 298.

l'une des rainures du tambour o_1. A ce moment il faut, à l'aide de la manette extérieure p_1 faire tourner le poussoir cylindrique p_2 qui appuie sur le bord de la pièce ; le mouvement de la manette est ainsi communiqué au tambour o_1 qui entraîne à son tour la roue o_4, par laquelle est mû le pignon q. L'écrou r tourne avec le pignon q et revient vers la gauche de la figure, ce qui permet de refermer l'interrupteur u_1 en l'accrochant au levier coudé v_1. Le poussoir p_2 ne peut faire qu'un quart de tour, de sorte qu'à chaque pièce introduite dans le compteur l'avance de l'écrou r est limitée ; pour connaître la quantité d'électricité dont on peut encore disposer ; un cadran divisé x, se déplace devant une fenêtre et indique à chaque instant la position de l'écrou.

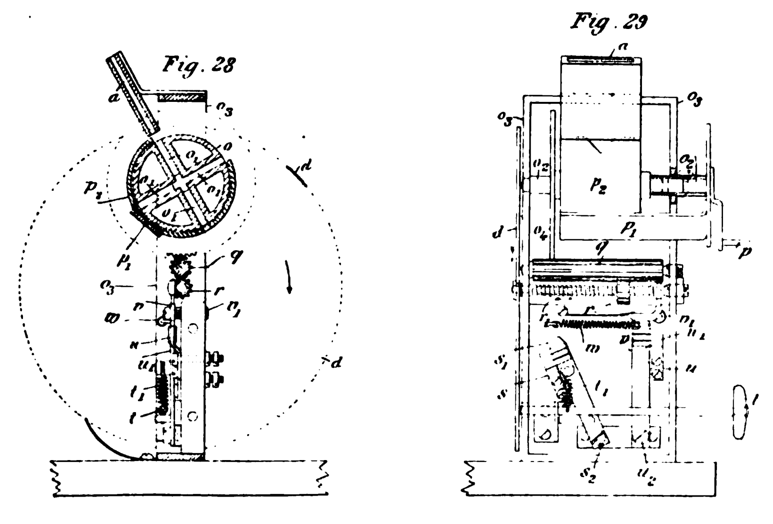
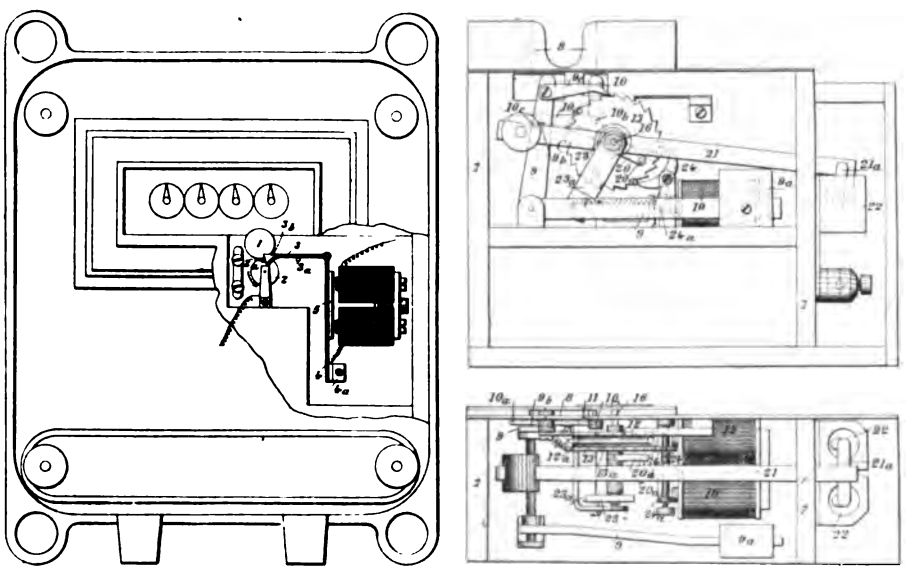


Fig. 28 et 29. — Mécanisme de prépaiement de Crawley.

La fermeture de l'interrupteur u_1 est obtenue au moyen de la manette t qui, tirée en arrière, fait appuyer le levier t_1 sur u_1 et, ramenée en avant, ferme le second interrupteur ss_1. Les fentes du tambour sont faites suffisamment larges, mais limitées au centre au moyen de chevilles qui laissent passer directement les pièces trop petites, les fentes étant en face l'une de l'autre et, de plus, une fente semblable étant ouverte dans le poussoir cylindrique.



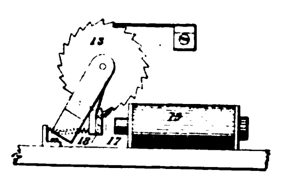


Fig. 30, 31, 32 et 33. — Mécanisme de prépaiement Harrison.

Le mécanisme de prépaiement de Haydn Thies Harrisson (1) peut s'appliquer à un compteur quelconque : gaz, eau, électricité, etc. ; dans le cas particulier représenté ici, il

(1) Brevet anglais n° 16 120, déposé le 23 juillet 1898, accepté le 20 mai 1899. 5 figures.

agit sur un compteur électrique et coupe automatiquement le circuit dès que la quantité d'électricité payée est consommée.

Le système comporte une petite addition au compteur proprement dit et un mécanisme qui peut être placé indépendamment, à une distance quelconque.

Le dernier modèle, 2 (fig. 30), du compteur porte une cheville 2_a qui vient à chaque tour en contact avec le levier 3, ce qui ferme un circuit dérivé comprenant l'électro 6 et un second électro 19 placé dans le mécanisme indépendant (fig. 31 et 32). Dans ce dernier la pièce introduite dans la fente 8 écarte le levier coudé 9, lequel, rappelé par le poids 9_a, tend à reprendre sa position et fait avancer la roue à rochet 12 au moyen du cliquet 9_c.

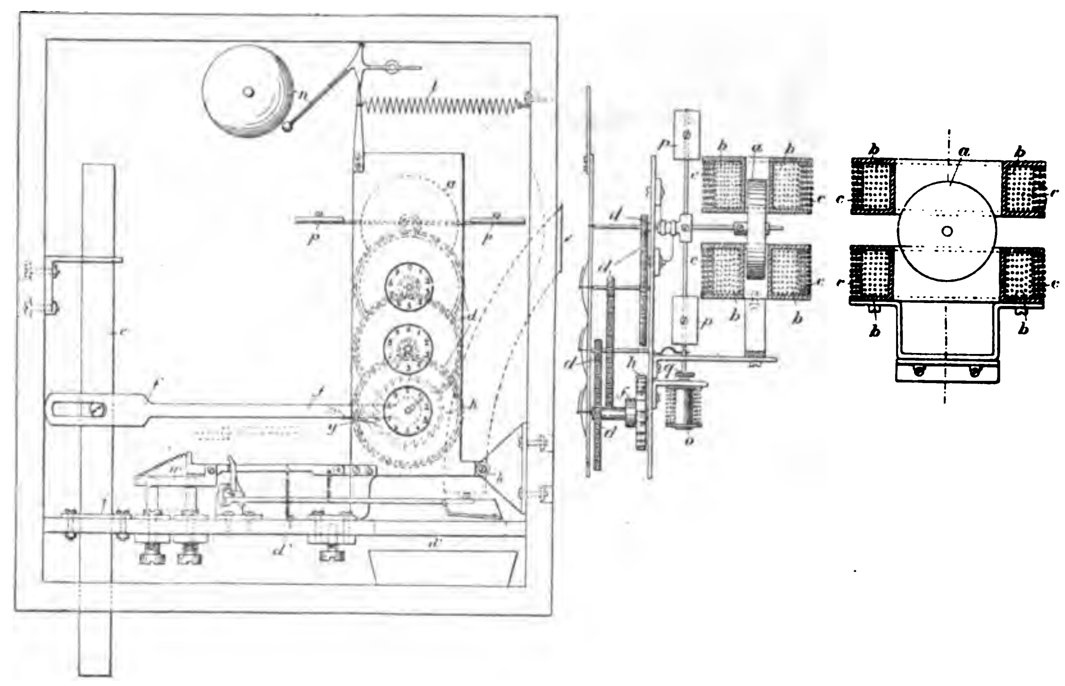


Fig. 34, 35 et 36. — Compteur Cornélius Cante : ensemble et détails.

Un second levier 10 sert de verrou : il faut qu'il soit repoussé par la pièce de monnaie pour que la goupille 9_b, portée par le levier 9, sorte de l'encoche 10_c ; il est donc nécessaire que les leviers 9 et 10 s'écartent en même temps sous l'action de la pièce.

Le rochet 12, commandé par le levier 9, et un second rochet 13, sont montés tous deux fous sur l'axe 16 ; ces deux rochets sont réunis par un système différentiel composé de deux couronnes dentées 12_a et 13_a, solidaires des roues 12 et 13, et d'un petit pignon 14 porté à l'extrémité d'un bras 15 fixé lui-même sur l'axe 16. Un ressort spiral fixé d'une part à l'équerre 23 et d'autre part à l'axe 16, tend à ramener le bras 15 et le pignon 14 à une position déterminée. Ce mouvement de retour est empêché par le cliquet 24 qui agit comme un échappement ; à chaque émission de courant, dans les électros 6 et 19, la roue 13 avance d'une dent. Le système est complété par un levier 21 qui porte, en 21_a, un cavalier en cuivre plongeant dans deux godets à mercure ; c'est ce cavalier qui ferme le circuit. Un bras 20 relève le levier au moyen d'une cheville 20_a, de sorte que dans la position de repos, quand le ressort 23 est détendu, le circuit est rompu.

Le fonctionnement de l'appareil est le suivant : à chaque pièce introduite en 8, le



cliquet 9_c fait avancer la roue 12 et celle-ci entraîne le pignon 14 qui est obligé de rouler sur la couronne dentée 13_a qui est fixe à cet instant. Ce mouvement a pour effet de baisser le bras 20, ce qui permet au levier 21 de retomber en fermant les circuits par les godets 22 et le cavalier 21_a ; en même temps le ressort 23 se trouve armé. A chaque contact, établi par le dernier mobile du compteur, l'électro 19 attire son armature et laisse avancer d'une dent la roue 13 ; le pignon 14 reprend ainsi peu à peu sa place, remettant toutes choses en état et rompant le circuit dès que la quantité d'énergie convenable a été dépensée.

La figure 33 montre une variante de l'échappement dans laquelle le ressort 23 est supprimé et où l'attraction de l'électro 19 agit directement pour faire avancer le rochet 13, dont les dents sont alors de sens opposé à celles du rochet 12.

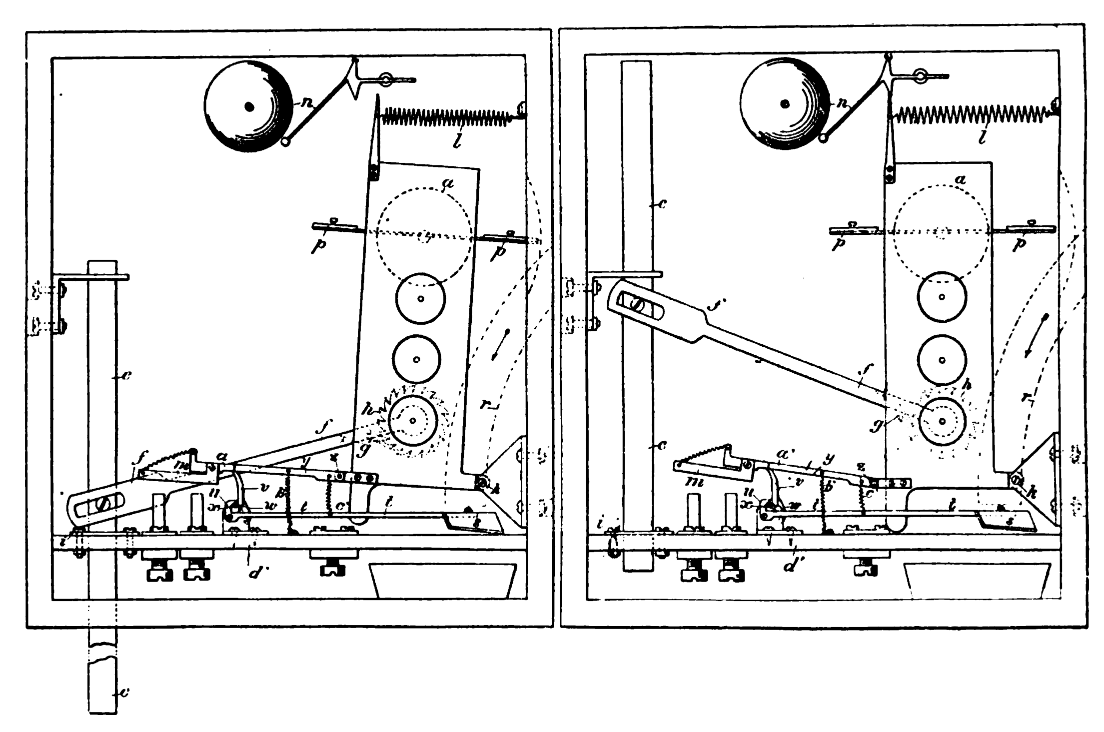


Fig. 37 et 38. — Compteur Cante : détails du fonctionnement.

L'électro 6 du compteur (fig. 30), a pour but de limiter la durée de l'émission de courant : en effet, dès que le contact est établi, l'armature 5 est attirée et le levier 3 tombe sur 3_a amenant la partie isolante 3_b en contact avec la cheville 2_a, ce qui rompt instantanément le circuit.

Le frein du compteur de Cornélius Cante [1] est un tambour métallique *a* (fig. 34 à 36), qui tourne à l'intérieur de deux bobines plates *bc*. Ce frein est sollicité à se mouvoir par l'action d'un poids *e* fixé au levier *f*; au moyen d'un cliquet *g* ce levier entraîne une série de roues dentées *d*, dont le dernier mobile est précisément le tambour *a* ; des index fixés sur les axes des roues, permettent de lire sur des cadrans le nombre de tours effectué. Les bobines comportent deux enroulements : l'un en fil fin *b*, placé en

[1] Brevet anglais n° 19 264, déposé le 9 septembre 1898, accepté le 2 septembre 1899. 3 figures.

dérivation sur le circuit, crée un champ constant assez intense pour arrêter le mouvement du tambour; l'autre *c*, à gros fil, reçoit le courant à mesurer et les connexions sont faites de telle sorte que le champ est dû à la différence d'action des deux enroulements, donc le tambour doit prendre une vitesse d'autant plus grande que l'intensité à mesurer est plus élevée.

Quand le poids *e* est au bout de sa course, le levier *f* s'arrête sur *i* et la roue *h* continuant à avancer pendant un temps très court, à cause de la vitesse acquise, le cliquet *g* tombe, le ressort *l* attire l'ensemble des rouages et le fait pivoter autour de *k*, ce qui a pour effet d'ouvrir l'interrupteur *m* par lequel passe le courant; en même temps le marteau *n* frappe le timbre pour avertir qu'il faut remonter la pendule. Le remontage a pour effet de remettre tout en place et de refermer l'interrupteur *m*, rendant ainsi la libre disposition du courant. L'arrêt du compteur à vide est assuré par l'électro *o* qui abandonne l'armature *q* dès que le courant cesse de passer et celle-ci en remontant vient accrocher les ailettes *p* du régulateur, ce qui arrête le déroulement du rouage.

Ce compteur est également disposé pour recevoir un dispositif à prépaiement [1]; à cet effet le levier *y* qui porte l'interrupteur *m* est articulé en *z*, de sorte que la rupture se fait en *m* sous l'action du ressort *l* qui, comme précédemment, attire tout l'ensemble en arrière dès que le poids *e* est arrivé au bas de sa course, mais un cliquet *v* vient à ce moment s'engager sous l'encoche *a'* du levier *y* (fig. 37), et, malgré le remontage du poids *e*, le circuit reste interrompu (fig. 38). Pour fermer de nouveau le circuit, il faut qu'une pièce de monnaie, introduite dans la fente *r*, tombe dans le plateau *s* fixé au bout du levier *t*. Le rôle de ce levier *t* est double : d'une part, il porte, à son extrémité opposée au plateau, une projection *u* qui, en appuyant sur le cliquet *v*, permet au levier *y* de redescendre, d'autre part il provoque ce mouvement de descente à l'aide du ressort c_1; grâce à cette combinaison l'introduction d'une pièce de monnaie en *r* rétablit le circuit et remet les choses en état de fonctionnement.

H. Armagnat.

CONGRÈS INTERNATIONAL DES TRAMWAYS [2]

Ce Congrès a été organisé sous les auspices de l'Union Internationale permanente des Tramways [3]; il a réuni plus de 500 adhérents et différents gouvernements y étaient représentés par des délégués officiels [4]. Les sujets qui ont été discutés présentent un intérêt

---

[1] Brevet anglais n° 19265, déposé le 9 septembre 1899, accepté le 2 septembre 1899. 5 figures.

[2] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXIV, pp. 407, 447 et 483, 15, 22 et 29 septembre 1900.

[3] Président d'honneur : M. Pierre Baudin, Ministre des Travaux publics.
Commission d'organisation :
Président : M. Léon Janssen.
Membres : MM. Aigoin, Broca, Cuvinot, Fuster, Géron, Guary, Kessels, Köhler, Lavalard, Monmerqné, Radice, Röhl, Ziffer.
Secrétaire général : M. Nonnenberg.
Secrétaire : M. Albert Janssen.

[4] Délégués officiels des Gouvernements ;
Allemagne : M. Schürmann.

considérable pour les électriciens; nous avons analysé les rapports qui ont été présentés (¹); nous résumerons aujourd'hui les discussions auxquelles ces rapports ont donné lieu.

La séance d'ouverture a eu lieu le lundi 10 septembre, à dix heures du matin, au Palais des Congrès, à l'Exposition, sous la présidence de M. Pérouse, conseiller d'État, directeur des chemins de fer, délégué de M. le Ministre des Travaux Publics. Après avoir prononcé une courte allocution, M. Pérouse a donné la parole à M. Janssen, président de la commission d'organisation.

Après l'élection du bureau (²), la discussion des rapports a commencé immédiatement.

I. — Tarif des tramways

M. Géron lit son rapport dont les conclusions sont les suivantes :

« 1° Les tarifs des tramways urbains doivent être simples et à bon marché et établis en conformité avec les particularités locales;

« 2° Pour de grandes villes, il est recommandable, en général, de prévoir une zone intérieure aussi étendue que possible, avec un tarif à prix unique, dans laquelle ne sont pas comprises les lignes suburbaines ;

« 3° Le service des correspondances est recommandable ; il y a lieu, cependant, d'examiner pour chaque cas particulier si l'on doit percevoir un supplément pour la correspondance et quel doit être le montant de ce supplément. »

Autriche : MM. Edler von Leber, Franz Strzizek, Ludwig Freund.
Belgique : MM. L. Janssen, F. Nonnenberg, A Janssen, F. Nyst.
Canada : M. James Mavor.
Espagne : M. Pedro Garcia Faria.
Etats-Unis d'Amérique : Colonel G. Truesdell, Prof. F. S. Wilkins. W. Allen.
France (*Ministère des travaux publics*) : MM. Pérouze, Iozon, Luneau, Regimbeau, Schelle, Villé, Lefebvre, Forestier, Hétier. (*Ministère de la Guerre*) : M. Braun. (*Ministère de l'Agriculture*) : M. Plazen.
Hongrie : M. G. Kadar.
Monaco : M. P.-A. Bergès.
Pays-Bas : M. J. Van Leuwen.
Roumanie : M. A. Remush.
Russie : M. Redel.
Siam : MM. H. Hoeylaert, E. Rolin.
Suède : M. Fränckel.
Délégués officiels des Administrations provinriales et communales :
Amsterdam : M. Neiszen.
Cologne : M. Scheidtweiller.
Dusseldorf : M. Walraff.
Christiania : M. Talén.
Liège : M. A. Henrion.
Milan : M. A. Castiglione.

(¹) Tous les rapports ont été rédigés d'après les réponses fournies par les Sociétés adhérentes à un questionnaire adressé par l'Union sur des sujets choisis d'avance et qui ont été ainsi mûrement étudiés.

(²) Président d'honneur : M. Pierre Baudin.
Vice-Présidents d'honneur : les premiers délégués officiels de chacun des pays représentés.
Présidents : Séance du lundi 10 septembre. M. Aigoin.
» mardi 11 » M. Lavalard.
» mercredi 12 » M. Lévy.
» jeudi 13 » M. Janssen.
Vice-Présidents : MM. Broca, Monmerqué, Debray.
Membres : Tous les membres de la commission d'organisation.
MM. Géron et Nonnenberg ont assumé la difficile mission de traduire soit en français, soit en allemand, tous les mémoires présentés et les discussions auxquelles ils ont donné lieu.



Les deux premières conclusions sont approuvées par le Congrès, mais la troisième, relative au service des correspondances donne lieu à une très vive discussion à laquelle prennent part MM. Monmerqué, Lavalard, Thonet, Grialou, Köhler, Debray, Scheidtweiler, Janssen. Le Congrès décide qu'il est impossible et qu'il pourrait même être dangereux de recommander l'usage des correspondances dans l'état actuel de la question ; un supplément d'enquête aura lieu et le sujet sera traité dans le prochain Congrès (1).

II. — Résultats d'application de la traction électrique

Les conclusions du rapport de M. de Pirch sont adoptées, étant bien spécifié qu'elles ne

(1) M. Monmerqué pense que le congrès ne peut s'associer à une conclusion aussi absolue ; on ne peut pas dire que « le service des correspondances est recommandable » dans tous les cas. C'est une question d'espèce. Le service des correspondances a rendu de grands services et a servi à populariser et à développer l'emploi des transports en commun dans beaucoup de villes ; mais il est une source de troubles ponr l'exploitation, exige un contrôle sévère, qui fait perdre beaucoup de temps et diminue ainsi la vitesse commerciale du transport, ce qui est contraire aux intérêts du public, de l'exploitant et contraire aussi aux intentions des pouvoirs publics. Il demande donc que la 3e conclusion du rapport soit modifiée afin d'être rédigée en termes moins absolus.

M. Lavalard appuie les observations de M. Monmerqné ; les correspondances ont rendu de grands services ; elles étaient pour ainsi dire indispensables avec la traction animale, car on ne pouvait avec les chevaux adopter les tracés à grandes longueurs rendus possibles par la traction mécanique. Le contrôle qu'elles exigent est une source de lenteurs déplorables ; à l'étranger, on a pu organiser un système de correspondances qui évite ces pertes de temps, mais il ne croit pas ce système applicable à Paris.

M. Thonet est du même avis. La correspondance est l'origine de nombreuses fraudes ; lorsque les tarifs sont bas, on peut en supprimer l'emploi. Elle est parfois exigée par les cahiers des charges. L'orateur a eu à différentes reprises à étudier quel système adopter pour en rendre l'application juste et pratique ; il n'en connaît pas de parfait.

M. Grialou, directeur de la Société des omnibus et tramways de Lyon, explique ce qui s'est passé sur le réseau de cette ville. Le nouveau cahier des charges, qui fixait le prix des places à dix centimes en seconde classe et à vingt centimes en première classe, exigeait la correspondance gratuite. Les recettes anciennes atteignaient, par an de 5 500 000 à 6 000 000 francs. Avec le nouveau tarif, la recette moyenne par voyageur est tombée à 8,5 centimes alors que le prix normal minimum est de dix centimes. La perte de recette peut donc être évaluée à 500 000 ou 600 000 francs du fait de la correspondance. En outre, la compagnie doit exercer un contrôle constant pour éviter les fraudes et s'assurer :

1° Que le public utilise bien la correspondance au point de croisement ;

2° Qu'il l'utilise de suite ;

3° Que les receveurs ne trafiquent pas des correspondances qui représentent, en réalité, du papier monnaie ; qu'ils n'échangent pas des correspondances entre eux.

Elle a dû, pour cela, employer de 150 à 180 contrôleurs, qui poinçonnent les correspondances et surveillent les receveurs ; ces contrôleurs ont un traitement de 1800 francs par an ; la dépense entraînée par ce contrôle est donc de 300 000 francs environ, qui s'ajoute à la perte de recettes ci-dessus. Ces charges ne sont pas justifiées, car le public peut, pour dix centimes, effectuer sans correspondance des trajets de 10 à 12 kilomètres et, dans ces conditions, la rémunération de la Compagnie n'est plus suffisante. En résumé, la correspondance présenterait plus d'inconvénients que d'avantages.

M. Kohler, directeur de la grande Compagnie des tramways de Berlin, pense aussi qu'il serait dangereux d'approuver l'emploi de la correspondance d'une façon générale. Quand les tarifs sont suffisamment élevés, il est tolérable ; mais avec les tarifs réduits, — à Berlin, on peut, pour 10 pfg (12,5 centimes) effectuer des parcours de 20 kilomètres —, il est impossible de permettre aux voyageurs de changer une ou deux fois de voiture sans supplément de prix. Il demande que le Congrès ne recommande pas les correspondances.

M. Debray fait remarquer que les travaux du Congrès sont suivis avec attention par les pouvoirs publics et qu'il serait dangereux d'approuver l'usage de la correspondance, car on ne manquerait pas d'opposer cette décision aux Compagnies.

M. Scheidtweiler, délégué officiel de la municipalité de Cologne, estime que l'intérêt des sociétés et celui des communes est le même, car on pourrait, en se basant sur les décisions du Congrès, reprocher à ces dernières de ne pas forcer l'emploi de la correspondance, même lorsque cet emploi n'est pas justifié.

M. Monmerqué propose une nouvelle rédaction ; mais M. Janssen demande que cette rédaction soit confiée à une commission spéciale et M. Lavalard, demande que, vu l'importance de cette question, une étude plus complète en soit faite, avec chiffres à l'appui ; un rapport spécial serait fait et discuté dans le prochain Congrès.

Cette dernière proposition est adoptée à l'unanimité.



s'appliquent qu'à la traction électrique *par fil aérien*, et qu'elles ne préjugent en rien des avantages ou inconvénients des autres systèmes de traction électrique. Voici ces conclusions :

« D'après les expériences qui ont été faites, la traction électrique à fil aérien se recommande en remplacement de la traction animale et même de la traction par locomotives lorsqu'il s'agit d'une exploitation où de petits trains se succèdent à de courts intervalles sur des lignes à longs parcours et à trafic intense ainsi que tout particulièrement pour des lignes établies en terrain fortement accidenté, à condition que la durée de la concession soit suffisamment longue et que des conditions impossibles ou des charges exorbitantes ne viennent pas compromettre ou détruire l'équilibre économique de l'affaire » ([1]).

III. — Avantages et inconvénients de la voie étroite et de la voie normale pour les tramways électriques.

Le rapporteur, M. Gunderloch, n'ayant pu assister à la séance, aucune conclusion n'a été votée ; la question a été réservée. Il semble, d'ailleurs, que le rapport et ses conclusions aient dépassé le but envisagé ; on n'avait en vue que les cas où l'on reconnaît qu'il y a avantage à employer la traction électrique et non toutes les lignes de chemins de fer économiques ou chemins de fer vicinaux. Dans beaucoup de cas, la traction électrique ne saurait s'appliquer à ces lignes de grande longueur et de faible trafic ([2]).

([1]) M. Monmerqué fait observer que les conclusions du rapport sont justes, mais qu'il ne ressort pas assez nettement des questions posées ni du corps du rapport que l'on n'a envisagé que la traction par fil aérien. Il conviendrait donc de modifier la rédaction des questions et quelques passages du rapport. Seul, le fil aérien a fait ses preuves ; les autres systèmes, caniveau, contact superficiel, ne sont pas encore assez connus ; on ne peut encore rien dire à leur sujet ; généraliser pourrait être nuisible.

Le rapporteur se rallie à cette observation ; il n'a, du reste, envisagé que le fil aérien.

M. Kohler fait observer que l'on ne peut modifier les questions posées parce que le rapport auquel elles ont donné lieu n'y répond pas précisément. Il vaudrait mieux modifier la conclusion ; or, celle-ci fait nettement ressortir qu'il ne s'agit que du fil aérien. L'observation présentée par M. Monmerqué est juste dans le fond ; le Congrès doit bien spécifier qu'il n'entend appliquer les conclusions du rapport qu'au fil aérien à l'exclusion de tout autre système électrique. Mais ceci admis il pense qu'on peut voter la conclusion de M. de Pirch.

Cette dernière solution, mise aux voix est adoptée à l'unanimité.

([2]) M. Janssen provoque la discussion en priant M. de Burlet, directeur de la Société nationale des chemins de fer vicinaux, en Belgique, d'énoncer les raisons pour lesquelles ces chemins de fer ont adopté à peu près exclusivement la voie étroite.

M. de Burlet estime que les conclusions du rapport sont justifiées pour les lignes urbaines ou suburbaines ; mais, pour les lignes interurbaines s'étendant au loin dans la campagne, on se saurait trop condamner la voie normale. En Belgique, le nombre des lignes vicinales en exploitation est d'une centaine environ ; leur longueur est de 2 500 kilomètres. Sur l'ensemble de ce réseau trois lignes seulement sont à l'écartement normal. Pourquoi ? Uniquement en raison des frais de premier établissement. Les grandes lignes de chemin de fer ont drainé le trafic principal ; les lignes vicinales n'auront donc qu'un trafic très restreint, et il faut proportionner les dépenses aux recettes prévues. Or, le prix de revient du kilomètre de chemin de fer vicinal basé sur l'ensemble des lignes construites, est de 47 000 fr. pour la voie étroite et de 100 000 fr. pour la voie normale. Si l'on avait voulu construire dès les débuts avec la voie normale, il est probable qu'on n'aurait pas construit le quart des voies existantes. Dans un seul cas, la Compagnie est gênée par la voie étroite et veut la remplacer par la voie normale ; c'est le cas d'une ligne desservant une région où l'on a découvert, depuis, d'importantes carrières dont le trafic a pris un développement considérable qui justifie la voie normale et le raccord avec les grandes lignes ; mais c'est un cas exceptionnel ; on a créé le bassin minier en installant la voie étroite ; on ignorait la richesse de la région avant la construction ; et il est probable que si l'on avait, dès l'abord, proposé la voie normale, on n'aurait pas trouvé d'argent pour la construire.

Le Congrès d'Amsterdam, en 1890, a adopté la voie étroite comme solution générale, la voie normale ne devant être adoptée que dans des cas spéciaux. M. de Burlet demande qu'on s'en tienne à ces conclusions.

M. Kessels, directeur général de la Société des chemins de fer économiques, corrobore le dire de M. de Burlet : après ce que celui-ci vient de dire, il n'ajoutera qu'un renseignement ; c'est que le coût du transbordement des marchandises est très minime ; en Italie, la Compagnie des chemins de fer économiques ne reçoit que 0,20 fr. par



IV. — Composition de l'usine centrale.

En lisant son rapport, M. Thonet insiste sur la possibilité, pour les sociétés, de publier les rendements et les résultats économiques obtenus avec le matériel qu'elles emploient ; tous les appareils qui composent une usine sont bien connus et les fabricants n'ont rien à craindre de cette publication qui permettrait simplement aux ingénieurs de se rendre compte des types les mieux appropriés à un service donné. M. Thonet demande que cette question des rendements et des résultats économiques soit portée à l'ordre du jour de la prochaine session.

Il en est de même en ce qui concerne les accumulateurs employés comme batteries tampons ; quel est leur rendement, quels sont les frais qu'entraîne leur entretien ?

Les avantages et les inconvénients des machines à vapeur à triple expansion devraient aussi être étudiés.

Enfin, il serait intéressant d'obtenir pour la prochaine session, des renseignements précis sur les prix d'entretien des chaudières.

M. d'Hoop développe la partie du rapport relative aux organes accessoires. Il dit que l'économie réalisée, à Bruxelles, par le turbinage des déchets huileux est de 15 fr par jour (1).

V. — Systèmes de distributions du courant.

Le rapport de M. Van Vloten ne donne pas lieu à une longue discussion. Le Congrès décide qu'il n'y a pas lieu d'émettre de vote sur un sujet aussi général et se borne à remercier M. Van Vloten pour son très intéressant travail (1).

---

tonne pour toutes dépenses (manœuvres, location de matériel, etc.) ce qui couvre très largement les frais ; les marchandises transbordées sont principalement le granit et le charbon ; la gare a été aménagée spécialement pour faciliter les manœuvres.

M. Haselmann, directeur des tramways d'Aix-la-Chapelle, estime, contrairement aux assertions du rapporteur, que les chemins de fer vicinaux ne sont pas destinés à se souder aux grandes lignes, mais à se souder entre eux pour desservir par des voies économiques les régions où les chemins de fer à voie normale ne pourraient pénétrer en raison de leur prix élevé.

M. Trautweiler, de Strasbourg, fait remarquer que la conclusion du Congrès d'Amsterdam était justifiée par les conditions d'alors ; mais avec la traction électrique, l'écart de prix entre les deux types de voies devient beaucoup plus faible ; on devrait donc se rallier aux conclusions du rapporteur, savoir : 1° considérer d'abord la voie normale et 2°, ne choisir la voie étroite que dans les cas spéciaux où la première ne peut convenir.

M. Kohler fait observer que les conclusions du rapport et la discussion actuelle s'éloignent beaucoup de l'esprit de la question posée ; il semble qu'on confonde les tramways et les chemins de fer vicinaux.

M. Lavalard propose, le rapporteur étant absent, de réserver la question qui sera discutée ultérieurement.

Adopté.

(1) M. Baumgart critique le passage du rapport d'après lequel les batteries tampons ne s'adaptent qu'aux installations de moyenne puissance ; elles peuvent rendre de grands services même pour les installations de très grande puissance, comme le prouvent les applications faites en Amérique.

M. Monmerqué s'excuse par lettre de ne pouvoir assister à la réunion ; il demande que la première conclusion du rapport, relative au type de machine à vapeur, soit modifiée par l'adjonction des mots « ou à triple expansion ».

M. Thonet croit que les conclusions de leur rapport doivent être restées sans aucune modification, sauf toutefois celle demandée par M. Monmerqué. On ne possède pas assez de renseignements sur l'emploi des batteries tampons sur les grands réseaux pour que le Congrès prenne une décision à cet égard ; bien des compagnies seraient entraînées par ce vote ; d'ailleurs sur les grands réseaux, les variations de charge s'équilibrent.

Les conclusions du rapport, modifiées selon le vœu de M. Monmerqué, sont adoptées.

(1) M. Monmerqué demande, par lettre, que l'on supprime le 3e paragraphe des conclusions, les accumulateurs ne pouvant être rangés dans les systèmes de distribution. Il demande qu'au 5e paragraphe le mot polyphasé soit remplacé par le mot triphasé.

M. Debray fait observer que la question, très mal posée, ne se prêtait pas à une réponse précise ; le choix d'un



VI. — Joint Falk.

M. Fischer-Dick lit son rapport et fait remarquer que le prix du joint n'a pas d'importance ; à Berlin, le kilomètre de voies doubles posées en chaussée asphaltée revient à environ 220 000 francs. Tout ce qui permet de prolonger la durée de ces voies coûteuses et de diminuer la fréquence des réparations fait réaliser des économies qui rémunèrent largement des frais de premier établissement.

M. Thonet pense qu'on doit remercier le rapporteur et adopter son rapport ; il tient à faire remarquer que l'on n'a employé conjointement les connexions électriques et le joint Falk que par mesure de prudence, au début. Maintenant on a supprimé toutes les connexions électriques.

M. Grialou confirme ce que vient de dire M. Thonet ; ce n'est qu'au premier essai, à Lyon, qu'on a adopté les connexions ordinaires ; on tenait à voir d'abord quelles étaient les qualités du joint Falk. Depuis, on a supprimé tout autre mode de connexion électrique, la résistance ohmique des rails soudés par le procédé Falk étant la même que celle d'un rail continu. Il faut remarquer, d'ailleurs, que quand un joint Falk doit sauter, il saute dès les premiers jours après la pose ; les ruptures qui se produisent en hiver sont très rares.

VII. — Traction par accumulateurs.

M. Johannet, en son nom et en celui de M. Broca, résume le rapport sur cette question et propose que le Congrès vote les conclusions suivantes qui diffèrent de celles imprimées dans le rapport : « La traction par accumulateurs, plus onéreuse que la traction par fil aérien, ne doit être appliquée que dans certains cas très spéciaux et lorsque la traction par fil aérien n'est pas possible, car seule, cette dernière permet de donner satisfaction au public et d'abaisser les tarifs. » Après une discussion très animée, qui a duré toute la matinée, ces conclusions ont été rejetées et les conclusions suivantes, qui résument ce qui a été dit, ont été adoptées : « Le Congrès constate que la traction par accumulateurs n'a pas fait jusqu'à ce jour de réels progrès et qu'elle ne saurait être employée que dans des cas absolument exceptionnels, parce que : 1° elle ne permet pas de donner au public un service satisfaisant ; 2° son prix de revient est très élevé [1] ».

---

système de distribution est une question d'espèce qui demande une étude particulière dans chaque cas : tout ce qu'on pouvait faire, c'était, comme le rapporteur l'a fort bien compris, de résumer les considérations qui doivent guider dans cette étude ; il n'y a donc pas à voter de conclusions ; le Congrès doit se borner à remercier M. Van Vloten de son très remarquable rapport. M. Debray insiste pour qu'à l'avenir les questions soient mieux posées.

M. Thonet partage l'opinion de M. Debray ; ce sont les considérations qui militent pour ou contre chaque système qu'il fallait considérer ; mais les conclusions du rapport ne sont en réalité que des indications ; on peut les voter.

M. Janssen remercie M. Debray ; il importe de poser les questions de la façon la plus générale ; c'est aux rapporteurs de juger de la tournure qu'ils doivent donner à leur travail et à ses conclusions. Il pense aussi qu'il n'y a pas lieu de voter des conclusions.

[1] M. Janssen rappelle que, de 1892 à 1898, il a été fait, à Bruxelles, des tentatives de traction par accumulateurs ; les résultats furent déplorables et la traction par accumulateurs fut abandonnée. Au Congrès de Genève, on avait demandé un rapport sur les « progrès réalisés » ; or, il résulte du rapport qui vient d'être présenté qu'aucun progrès n'a été réalisé. Les pouvoirs publics pensent que c'est seulement le prix élevé de ce mode de traction qui empêche les sociétés de l'adopter ; il faut déclarer hautement qu'il n'en est rien ; certaines sociétés ont adopté des moyens de traction au moins aussi coûteux que les accumulateurs ; la véritable raison pour laquelle les sociétés écartent de plus en plus les accumulateurs, c'est qu'avec ceux-ci, on n'est jamais certain de pouvoir assurer le service public.

M. Boulvin se déclare adversaire absolu des accumulateurs et puise sa conviction dans l'expérience qu'il a



VIII. — Chauffage des voitures de tramways.

M. de Burlet rappelle que le Congrès tenu en 1894 avait émis l'avis que le chauffage des voitures de tramways ne pouvait être recommandé et que l'Union ne pouvait s'en occuper; il pense que le Congrès actuel doit confirmer cette manière de voir.

---

acquise, notamment à Gand. Tout le monde est d'accord ; depuis plus de 10 ans qu'on fait des essais de traction par accumulateurs, on n'a enregistré que des insuccès. Théoriquement, toute tentative doit aboutir à un insuccès.

Une des raisons est la suivante : les réactions chimiques dont un accumulateur est le siège exigent une certaine surface qui dépend de leur maximum d'intensité; si la surface est insuffisante, l'accumulateur donne de mauvais résultats et se ressent pendant tout le reste de son existence du travail excessif qu'on lui a demandé, ne serait-ce que pendant un instant. La surface des batteries de voitures devrait donc être calculée sur la charge maxima qu'elles doivent supporter, ainsi qu'on le fait pour les batteries fixes ; elles devraient, par exemple, permettre à la voiture en charge de démarrer sur la rampe maxima, en temps de neige, avec un fort vent debout. Dans ces conditions, on reconnaît rapidement que l'emploi des accumulateurs devient impossible en raison du poids et des dimensions auxquels on est conduit ; une batterie calculée d'après les charges moyennes, même pour le maximum des charges moyennes, ne conviendra pas pour les courants d'intensité maximum qui peuvent se produire en cours de route.

Dans l'installation dont il a eu à s'occuper, M. Boulvin a constaté que la consommation de combustible par voiture-kilomètre était de 100 p. 100 supérieure avec les accumulateurs à ce qu'elle était avec le trôlet.

M. Boulvin reprend ensuite le rapport de MM. Broca et Johannet ; les conditions énoncées sont fort justes au point de vue théorique, mais elles ne sont pas toujours possibles. Ainsi, la centralisation est possible avec une seule ligne ou un réseau de lignes se croisant en un même point; mais la plupart du temps, elle sera impossible. C'est certainement une chose excellente de fabriquer soi-même les plaques, mais cela entraîne à de nombreuses sujétions : il faut se faire fondeur de plomb, affineur d'acide sulfurique, fabricant de boites, etc. ; or, un directeur de tramways a déjà assez à faire sans toutes ces difficultés. La charge lente est certainement préférable à la charge rapide, mais il faut compter avec les difficultés d'emplacement qui ont parfois conduit à l'adoption de la seconde solution. Il est bien difficile de faire des voitures qui soient commodes pour loger à la fois les voyageurs et les batteries. Quant aux dépôts et terminus, là encore on dépend des circonstances locales et l'on ne peut toujours les aménager comme on voudrait.

M. Boulvin s'élève contre la prétendue indépendance des voitures à accumulateurs ; pour lui, c'est une illusion; avec les accumulateurs, on est si peu indépendant qu'on « ne doit pas faire l'exploitation pour satisfaire le public, la Société ou l'Administration, mais pour satisfaire messieurs les accumulateurs ».

Le grand point, dans une exploitation de tramways, c'est d'obtenir l'élasticité, la flexibilité nécessaire pour proportionner à tout moment le nombre de places offertes à l'affluence de voyageurs ; c'est absolument impossible avec les accumulateurs. Ceux-ci ne peuvent donc être employés dans une grande ville si l'on veut donner satisfaction au public. Les cas où ils peuvent être employés sont très rares et nécessitent des circonstances très particulières.

M. Micke, de Berlin, rappelle que le système mixte a été employé dans cette ville ; il fut adopté comme un pis aller ; la partie exploitée avec accumulateurs, comprenant environ 20 km de voies doubles, formait une très grande partie du réseau total. Il fut reconnu dès les premiers temps que, si l'on parvenait à réaliser un régime acceptable pour la décharge, il était à peu près impossible de charger convenablement les accumulateurs, ce qui tenait en partie à la faible longueur parcourue avec le trôlet. Cet inconvénient devenait particulièrement grave par mauvais temps ; pendant l'hiver, lorsque les rails étaient couverts de neige et de glace, la résistance au passage du courant, sur les parties en trôlet, devenait plus forte, en sorte que les accumulateurs se chargeaient dans des conditions déplorables ; si l'on avait attendu à la fin du parcours en trôlet que les batteries fussent suffisamment chargées, il y aurait eu jusqu'à 64 voitures arrêtées en un seul point du réseau ; sur les autres points, l'accumulation de voitures aurait été moins grande quoique encore excessive. Bref, pendant l'hiver, à l'époque des neiges, les voitures se sont toutes arrêtées et la municipalité a dû autoriser l'emploi du trôlet à titre provisoire. La Compagnie a présenté à l'Administration des mémoires dans lesquels elle exposait tous les inconvénients de ce mode de traction au point de vue du service public, et demandait l'autorisation d'adopter le fil aérien, sauf dans certains points où le caniveau serait adopté.

M. Micke ajoute qu'à son point de vue les frais de premier établissement doivent n'être considérés qu'en seconde ligne ; ce sont les conditions d'exploitation qui doivent l'emporter. Les accumulateurs doivent être condamnés, sauf, peut-être, dans certains cas exceptionnels, très exceptionnels.

M. Kruger, de Hanovre, prend ensuite la défense des accumulateurs. Pourtant, il débute en se ralliant aux conclusions de M. Micke ; il voudrait bien être « débarrassé » des accumulateurs. Mais, ajoute-t-il, le trôlet aérien produit encore, sur certains esprits prévenus, l'effet d'une loque rouge sur un taureau. Alors, il faut bien en venir aux accumulateurs. Il rappelle les résultats obtenus à Hanovre et relatés dans son mémoire que nous avons résumé dans un récent numéro. La fabrication des plaques par la Compagnie des tramways a donné de très bons résultats, car le prix de fabrication ne revient qu'à 2 pfg (2,5 centimes) plus cher par kg que le prix auquel on vend le vieux



En ce qui concerne le chauffage des chemins de fer vicinaux aucun progrès n'a été mis en évidence par la dernière enquête ; c'est une question très difficile à résoudre. La longue

---

plomb. Les frais d'entretien ne reviennent qu'à 0,5 pfg par voiture-kilomètre sur l'ensemble du parcours, en trôlet et en accumulateurs, et à 1,02 pfg (1,275 centimes) si on ne tient compte que du parcours en accumulateurs.

M. Röhl, directeur des Tramways de Hambourg, s'élève contre l'opinion soutenue par M. Kruger. Les chiffres que celui-ci a cités semblent d'ailleurs en contradiction avec les rapports annuels publiés par la Compagnie qu'il dirige à Hanovre. En effet, ces rapports annoncent une dépense de courant, en pfg, double de celle qui résulte de l'exploitation de Hambourg ; pourtant, la Compagnie de Hanovre fabrique elle-même son courant dans des conditions de prix très avantageuses, tandis que la Compagnie de Hambourg achète le sien à une autre compagnie et le paye un prix très élevé.

D'ailleurs, les questions de détail ne semblent pas de nature à permettre aux accumulateurs de donner satisfaction ; on a essayé, pour mieux loger les batteries, de les disposer dans un fourgon spécial, un « tender ». Ce système des tenders, employé à Munich, a donné de très mauvais résultats et aujourd'hui, tout le monde se défend d'en être le promoteur.

M. Kruger répondant à M. Rohl, explique que le prix de revient du kilowatt-heure, à Hanovre, a varié de 6,5 à 4,8 pfg (8,5 centimes et 6 centimes) ; le transport des accumulateurs sur les voitures consomme 50 watts-heures environ par tonne-kilomètre ; en plus, il faut compter une perte de 30 p. 100 en raison du rendement des accumulateurs. L'orateur se défend de prôner les accumulateurs qu'il voudrait bien voir disparaître de son réseau.

M. d'Hoop ramène la question sur le terrain des facilités d'exploitation qui est le plus important. Pour donner satisfaction au public, transporter tous les voyageurs qui se présentent, il faut, certains jours, à certaines heures, pouvoir tripler ou quadrupler le nombre de places offertes. Cela est impossible avec les accumulateurs qui ne sauraient donc donner des résultats satisfaisants au point de vue du public. En ce qui concerne l'indépendance des voitures, il rappelle que les dangers d'accidents sont beaucoup plus grands avec les accumulateurs qu'avec le fil aérien ; ainsi que l'a dit déjà M. Van Vloten, ces dangers d'accidents peuvent être considérés comme étant proportionnels, pour les accumulateurs, au nombre de voitures et, pour le trôlet à la longueur de la ligne ; ils augmentent donc rapidement, pour les premiers, avec la fréquence des départs, tandis qu'ils sont constants pour le second.

M. Kohler, de Berlin, excite l'hilarité en disant que M. Kruger a plaidé les circonstances atténuantes, mais que les accumulateurs, par leurs méfaits, ont mérité une sévère condamnation. A Berlin, où 400 voitures à accumulateurs étaient en service, les résultats, comme l'a dit un précédent orateur, furent déplorables ; ce que M. Micke n'a pas dit, c'est que les frais d'entretien ont atteint 10 fois les chiffres indiqués par M. Kruger ; cet entretien était fait en partie par la Société des Tramways, en partie par la Société qui avait fourni les accumulateurs ; les résultats furent les mêmes pour les deux ; aussi, la fabrique d'accumulateurs demanda-t-elle que les sommes qui lui étaient allouées fussent triplées ; et à ces dernières conditions, elle y perd encore.

M. Johannet répond en quelques mots à chacune des critiques soulevées par le rapport qu'il a lu.

Une communication a été faite, il y a environ 2 ans, à la Société Internationale des Electriciens, par M. Sarcia, sur les tramways à accumulateurs de Gand. Les frais de traction, y compris les plus petits détails, tels que les déchets de coton, etc., étaient déclarés n'atteindre que 0,17 fr par voiture-kilomètre, c'est-à-dire un prix inférieur à celui que donnerait le trôlet aérien. Les déclarations de M. Boulvin ne concordent pas du tout avec ces affirmations. Pourtant, les voitures de Gand ont été essayées à Paris ; elles n'ont pas donné satisfaction et cela parce que ces voitures avaient été mal étudiées. Les voitures employées à Paris, sur les lignes de Saint-Denis, ont donné pleine satisfaction, parce qu'elles avaient été étudiées spécialement pour la ligne où elles devaient circuler ; depuis 1892, elles ont parcouru 32 000 000 km ; M. Johannet les a sous sa direction depuis l'origine ; c'est sur l'expérience qu'il a acquise qu'il a basé son opinion. Il se défend, d'ailleurs, d'être partisan des accumulateurs et de les défendre *a priori ;* au contraire, il pense qu'ils doivent passer toujours en seconde ligne.

Le calcul de la capacité des batteries d'après le procédé qui a été indiqué dans le rapport conduit en général à des chiffres de 100 p. 100 supérieurs à ceux qu'indique le calcul de la dépense moyenne par tonne-kilomètre ; il pense, quoi qu'en dise M. Boulvin, que la capacité ainsi calculée est suffisante.

On semble ne pas s'entendre sur la signification du mot « indépendance » des voitures à accumulateurs. Les voitures à accumulateurs sont indépendantes parce qu'elles peuvent circuler sur toutes les voies de même écartement sans que ces voies aient au préalable été modifiées en quoi que ce soit ; elles sont indépendantes parce qu'un accident arrivé à l'une d'elles n'entraîne pas forcément l'arrêt des autres voitures ; le cas s'est souvent produit à Paris où une voiture restée « en panne » avec ses voyageurs a été remorquée ou poussée par la voiture suivante. Avec le trôlet, un accident arrivé au réseau de distribution paralyse le service sur toute la longueur de la ligne ; la règle de M. Van Vloten, citée par M. d'Hoop, n'est donc pas juste.

Si le système mixte n'a pas donné de bons résultats à Berlin, c'est qu'il ne convenait pas à la disposition du réseau, M. Micke lui-même l'a reconnu : la longueur du parcours en trôlet était trop faible. Il serait injuste de rendre les accumulateurs responsables de ce qu'on a voulu leur demander des choses impossibles.

La neige est, certes, un grave ennui ; mais pourquoi ne fait-on pas à l'étranger comme à Paris ? Ici, on sale les voies dès les débuts des chutes de neige et jamais le service n'a été paralysé.

Quant aux frais de premier établissement, s'ils n'ont pas d'importance absolument prépondérante quand la durée



expérience que le rapporteur a acquise dans cette branche de l'industrie le confirme de plus en plus dans cette opinion que, pour les chemins de fer vicinaux, l'économie des frais de premier établissement et des dépenses d'exploitation est d'une importance majeure ; c'est à bon droit qu'on a appelé les chemins de fer vicinaux « chemins de fer économiques » : ils rendent de grands services en contribuant à développer la prospérité du pays, en desservant des contrées où les chemins de fer à voie normale ne peuvent pénétrer ; mais ils n'ont qu'un trafic réduit ; ils ne peuvent exister sans la plus stricte économie. Dans ces

---

de concession est longue, ils ont, à Paris, sur certains réseaux, une importance capitale et la raison, c'est qu'il ne reste que 9 ans de concession pour amortir le capital engagé.

D'ailleurs, un directeur de tramways ne doit pas être de parti pris un électricien ; si dans le cas où le fil aérien est prohibé, on reconnaît que les accumulateurs ne peuvent convenir, pourquoi les employer ? Il y a d'autres systèmes, pas électriques.

On a dit que la période des essais était passée pour les accumulateurs et que ceux-ci étaient condamnés. Mais la période des essais ne fait que commencer pour le caniveau, pour le contact. Pourquoi, alors, tant prôner ces systèmes sans savoir ce qu'ils donneront ?

M. Monmerqué tient à insister sur une partie du sujet qui n'a pas été suffisamment mise en lumière par la discussion précédente. Tout le monde est d'accord en ce qui concerne les ennuis que les accumulateurs donnent au directeur des compagnies de tramways et sur les dépenses très élevées qu'ils entraînent ; chacun reconnaît que ce n'est qu'un pis aller. Mais les pouvoirs publics, eux, ne peuvent s'occuper de ces questions ; le prix de revient et les soucis du directeur leur sont indifférents ; ils n'ont à s'inquiéter que du service donné au public et des inconvénients qui peuvent résulter pour les tiers. Ce qu'il faut montrer aux agents des pouvoirs publics, c'est que les accumulateurs ne permettent pas de donner un service satisfaisant parce qu'ils manquent d'élasticité, qu'ils sont sujets à des accidents fréquents, qu'ils dégagent une odeur désagréable et nocive, qu'ils conduisent à un encombrement préjudiciable de la voie publique. On ne peut pas toujours disposer de terminus parfaits et avoir un dépôt en bout de ligne ; on est obligé alors de recourir à la charge rapide et de recharger les voitures sur la voie publique ; à Paris, sur la ligne cours de Vincennes-Louvre, où il y a des départs toutes les 3 minutes, à certaines heures, il y a souvent, au terminus de Vincennes 16 et 18 voitures en rechargement sur la voie publique. On a parlé du « tender » ; mais lui aussi conduit à un encombrement excessif de la voie publique et de plus il est laid. Ce sont ces arguments qn'on doit faire valoir auprès des pouvoirs publics.

En ce qui concerne les frais d'entretien, il signale ce fait qu'à Paris, une société d'accumulateurs qui avait demandé au début 0,10 fr par voiture-kilomètre a demandé à résilier son traité et a fixé le nouveau prix à 0,30 fr. Les chiffres cités par M. Kruger semblent donc impossibles. On ne peut tabler sur les prix d'entretien faits par les fabriques d'accumulateurs, car, celles-ci, très souvent considèrent ces prix comme une réclame et toujours font l'entretien à perte.

M. Boulvin demande à signaler une erreur de nom faite par M. Johannet ; la communication faite à la Société Internationale des Electriciens n'avait pas trait au réseau de Gand, mais à celui d'Ostende ; ce qui a pu conduire à cette confusion, c'est qu'il est dit dans cette communication que les tramways de Gand ont été établis d'après ceux d'Ostende. Mais on ne doit pas prendre cette communication au sérieux : comme l'a dit M. Johannet, les plus petits détails sont notés dans le prix de revient ; on n'a négligé qu'un seul poste de dépenses : l'entretien des batteries ! Ce seul fait suffit pour juger la conférence et le conférencier. M. Kruger ne peut qu'être félicité pour les bas prix qu'il a obtenus et qu'il a été seul à obtenir, mais M. Boulvin, d'après l'expérience qu'il a acquise à Gand, après une étude mûrement approfondie de tous les détails, pense qu'il aurait été préférable d'adopter la traction par chevaux : on aurait donné un meilleur service au public, et des dividendes aux actionnaires.

M. Janssen propose ensuite la conclusion que nous avons résumée au début de ce compte rendu et qui est adoptée.

M. Grialou, de Lyon, demande que les cas exceptionnels dans lesquels la traction par accumulateurs peut être employée soient spécifiés. Il insiste sur ce point que pour établir une comparaison exacte entre deux systèmes, on doit considérer le prix de revient total, comprenant non seulement les frais de traction, mais les frais généraux, l'intérêt et l'amortissement du capital engagé afin de déterminer dans chaque cas le produit net en tenant compte de la durée de concession et de l'intensité du trafic. Dans ces conditions, on reconnaît que, au point de vue économique, les accumulateurs ne tardent pas à devenir plus désavantageux que tous les autres systèmes électriques lorsque l'intensité du trafic nécessite des départs fréquents, même si la durée de concession n'est pas très longue. Le premier souci du directeur d'une compagnie de tramways doit être de transporter tous les voyageurs qui se présentent, car ainsi il réalise des recettes, satisfait le public et l'autorité concédante.

M. Bertini, de Milan, déclare que deux municipalités, en Italie, celles de Rome et de Turin avaient exigé l'emploi du système mixte ; les compagnies ont éprouvé toutes les difficultés signalées par les précédents orateurs et les municipalités l'ont si bien reconnu qu'elles ont traité pour supprimer complètement les accumulateurs et adopter le trôlet aérien dans toute l'étendue du réseau.



conditions, M. de Burlet estime que le Congrès ne peut recommander aucun des systèmes étudiés et il propose que la question reste à l'ordre du jour de la prochaine session.

Après échange de vues, le Congrès décide de maintenir à l'ordre du jour de la première session non seulement le chauffage des voitures des trains vicinaux mais encore le chauffage des voitures de tramways [1].

X. — Désignation rationnelle des moteurs électriques pour tramways.

M. d'Hoop donne lecture du rapport de M. Maclosky, empêché. Ce rapport conclut à la désignation des moteurs par trois nombres, représentés par les lettres C A B, et donnant, le premier la puissance que le moteur peut fournir pendant une heure sans que sa température dépasse de plus de 75° C la température ambiante ; le second, l'intensité en milliampères du courant nécessaire pour augmenter de 1 kg l'effort de traction à la jante des roues de 800 mm de diamètre ; le troisième, la valeur, en ampères, du « courant mort ».

Le Congrès décide que la question doit être laissée à l'ordre du jour et que les constructeurs de moteurs doivent être entendus [2].

---

[1] M. Monmerqué expose les conditions du chauffage des voitures de tramways à Paris; l'administration exige que les voitures soient chauffées, bien que ces voitures ne soient pas fermées ; des raisons d'hygiène ont fait proscrire différents modes de chauffage ; dans ces conditions difficiles, le chauffage revient à environ 1 franc par voiture et par jour, soit à peu près 1 centime par voiture-kilomètre.

M. Von Leber raconte qu'en Autriche, on avait adopté, sur une ligne, le chauffage électrique ; on le supprima, bien que le climat fut très rigoureux, parce qu'on le trouvait trop coûteux ; mais la compagnie fut obligée de le rétablir parce que la suppression du chauffage faisait baisser les recettes dans de notables proportions ; en effet, en raison même de la rigueur du climat, les habitants montaient dans la voiture pour se chauffer, pour « prendre pour deux sous de chaleur », comme le dit plaisamment l'orateur. Avec des voitures non chauffées, cette source de trafic se trouvait forcément perdue.

M. Ziffer déclare qu'en Autriche, les autorités interdisent, par mesure d'hygiène, le chauffage par poêles ou autres procédés de chauffage direct par foyers.

M. Blondel demande que la question du chauffage des voitures de tramways soit maintenue à l'ordre du jour, tout comme celle des voitures des chemins de fer vicinaux ; cette question est loin d'être résolue ; les autorités exigent souvent que les voitures soient chauffées, et le public y est habitué ; ce que demandent les voyageurs, c'est surtout de pouvoir se chauffer les pieds. Dans ces conditions, la dépense peut être assez réduite ; sur les chemins de fer Nogentais, elle n'est que de 0,78 fr par voiture et par jour ; certains systèmes de chauffage électrique permettent d'obtenir des résultats analogues.

Le rapporteur se rallie à cette proposition qui est adoptée.

[2] M. Janssen ouvre la discussion en disant que ce premier rapport n'avait pour but que de poser la question ; on doit attendre, avant de prendre une décision, que les membres de l'Union présentent leurs observations.

M. Hospitalier expose rapidement la méthode qu'il croit être la plus commode pour arriver à une désignation rationnelle des moteurs électriques. La puissance d'un moteur électrique est égale au produit d'un couple par une vitesse angulaire ; au début, le couple est maximum et la vitesse angulaire nulle ; la puissance fournie est donc nulle aussi. La vitesse va ensuite en augmentant continuellement tandis que le couple diminue jusqu'à devenir nul, lorsque la force contre électromotrice est égale à la force électromotrice appliquée. La puissance du moteur passe donc par un maximum. Pour désigner un moteur électrique, on devrait donc faire connaître :

1° Sa puissance maximum ;
2° Son couple maximum ;
3° Son couple correspondant à la puissance maximum ;
4° Sa vitesse angulaire maximum ;

M. d'Hoop demande que les constructeurs soient appelés à donner leur opinion.

M. Grialou appuie la motion de M. d'Hoop, et il insiste sur les conditions dont il doit être tenu compte ; les moteurs pour tramways sont soumis, dans les grandes villes, à un service très rude ; au moment des démarrages, ils sont parcourus par des courants très intenses ; lorsqu'on emploie le freinage électrique, ils fournissent, à chaque arrêt, des courants très puissants ; à Lyon, par exemple, il y a un arrêt tous les 100 à 150 mètres ; les moteurs n'ont donc pas le temps de se refroidir et, dans ces conditions, grillent très souvent. Il est essentiel que l'on se pénètre bien de ces conditions de fonctionnement des moteurs avant de discuter la notation à adopter.



XI — Freins pour tramways.

Le rapport verbal de M. Monmerqué a donné lieu à une discussion importante quoique écourtée par suite de l'heure avancée à laquelle elle a commencé. Le point saillant à retenir de cette discussion, c'est qu'on doit d'abord chercher la simplicité afin de rendre l'usage des freins plus commode ; la plupart des accidents qui se produisent, proviennent, en effet, moins des défauts des freins que de ce qu'on ne se sert pas assez bien de ces appareils [1].

---

[1] M. Monmerqué complète son rapport en donnant d'intéressants renseignements sur l'emploi des freins à Paris. Jusque dans ces derniers temps, les compagnies françaises étaient réglementées, à ce sujet, par le règlement du 6 août 1881 qui avait établi ce qu'on appelait la règle des trois-vingts : une voiture lancée à la vitesse de 20 km : h, sur une voie en pente de 20 mm : m, devait s'arrêter après un parcours maximum de 20 m. Ce règlement avait en pratique un grave inconvénient : il supposait implicitement que le coefficient d'adhérence est constant et égal à 0,14 ; tandis qu'en réalité ce coefficient varie dans d'énormes proportions suivant que les rails sont secs, mouillés, couverts de boue ; il tombe parfois à une très basse valeur. Une commission fut instituée pour étudier une modification à la règle des trois-vingts, afin de tenir compte de cet état de choses ; après 6 ou 8 ans d'études et de longues discussions, cette commission résolut d'adopter la règle suivante qui fut publiée le 13 février 1900 : Une voiture lancée à la vitesse de 20 km : h, sur une voie *en palier*, avec *rails secs et propres*, doit être arrêtée sur un parcours de 20 m. Cette modification est très importante.

Mais à Paris, le nouveau règlement n'a pas été jugé suffisant ; on en est resté à la règle des trois-vingts, modifiée par la condition des rails secs et propres. L'art. 152 de l'ordonnance du 10 juillet 1900 dit textuellement :

« Art. 152. — Les moyens de freinage des machines, remorqueuses, automobiles et tenders, devront être assez puissants pour que, lancées avec une vitesse de vingt kilomètres à l'heure sur des rails secs et propres, et sur une voie en pente de deux centimètres par mètre, avec une vitesse de vingt kilomètres à l'heure, les machines remorqueuses et automobiles puissent être arrêtées sur un espace de vingt mètres au plus, à partir du moment où le serrage est ordonné.

« Tout véhicule en service sur un tramway à traction mécanique (machine, tender, voiture, fourgon, wagon, etc). sera pourvu de deux systèmes de freinage distincts, ou de deux systèmes de commande des freins indépendants l'un de l'autre, agissant sur tous les essieux du véhicule. Les freins des véhicules autres que des machines, remorqueuses ou automobiles, devront être assez puissants pour que, en joignant leur action à celle des moyens de freinage de la machine ou automobile, les trains lancés à une vitesse de vingt kilomètres à l'heure, sur des rails secs et propres, et sur une pente de deux centimètres par mètre, puissent être arrêtés sur un espace de vingt mètres au plus à partir du moment où le serrage est ordonné.

« Chaque système de freinage sera disposé de manière à pouvoir être actionné rapidement par n'importe lequel des agents préposés à la conduite où à la surveillance du véhicule (mécanicien, aide, chef de train, receveur, garde-frein, etc.), au moyen de commandes placées à la portée de chacun de ces agents.

« L'un de ces systèmes sera d'un type dit « continu » permettant au mécanicien ou à son aide, ainsi qu'à chacun des agents d'un train, d'agir instantanément sur tous les essieux de ce train.

« Le frein continu devra être modérable et exempt de tout danger de raté, quelle que soit la température.

« Sur tous les trains circulant sur des lignes présentant des déclivités supérieures à vingt-cinq millimètres par mètre, le frein continu sera, en outre, disposé de manière à agir automatiquement, en cas de rupture d'attelage, pour produire immédiatement et maintenir l'arrêt des véhicules remorqués.

« Les freins seront toujours maintenus en parfait état. Ils seront constamment disposés de manière à pouvoir être actionnés instantanément à un moment quelconque.

« Les machines, remorqueuses ou automobiles, seront pourvues de moyens nécessaires pour maintenir le frottement sur les rails, quel que soit l'état de ces derniers, à une valeur suffisamment élevée pour que les conditions d'arrêt exigées par le présent article soient remplies en toutes circonstances, même en cas de dérive. Des commandes de ces moyens spéciaux devront d'ailleurs être disposées à portée de chacun des agents préposés à la conduite ou à la surveillance de la machine, remorqueuse ou automobile. »

Ces conditions rigoureuses sont en partie justifiées par l'état des voies à Paris, où les rails sont souvent recouverts d'une boue onctueuse et grasse qui diminue le coefficient d'adhérence dans d'énormes proportions ; mais elles n'empêchent pas les accidents et il est probable que ceux-ci ne seraient pas plus nombreux si les conditions imposées étaient moins dures.

Toutes les précautions semblent prises : les voitures de la compagnie générale des omnibus ne comportent pas moins de 5 commandes de freins : 3 par le machiniste, 2 par le receveur.

Le machiniste a à sa disposition :

1° Le frein à air comprimé à action directe et le frein à air comprimé automatique ;

2° Le frein à main ;

3° Le frein à contre-énergie.



Le receveur peut agir sur :

4° Le frein automatique à air comprimé ;

5° Le frein à main.

Le frein à air comprimé à action directe donne un serrage brusque, un arrêt très rapide ; il a l'inconvénient de faire des méplats sur les roues.

Le frein automatique à air comprimé donne une pression moins forte ; il peut être actionné par les receveurs en cas de danger.

Le frein à main ne donne lieu à aucune remarque particulière.

Le frein à contre-énergie consiste à faire machine arrière ; avec l'air comprimé ou la vapeur, on obtient de bons résultats ; avec l'électricité, les résultats sont moins bons car, si la manœuvre est trop rapide, on grille les moteurs, la force contre électromotrice des moteurs s'ajoutant à la force électromotrice de la source.

Aucune voiture n'est mise en service avant d'avoir été vérifiée par les ingénieurs de la compagnie d'abord et par les ingénieurs du contrôle ensuite ; chaque matin le machiniste vérifie le bon état et le fonctionnement de ses freins et cette vérification est répétée dans la journée. Chaque agent, dûment surveillé, du reste, est donc responsable.

Quant à la solidité des freins, un exemple pourra en donner une idée : un machiniste ayant abandonné son poste lorsque la voiture était arrêtée en haut d'une pente importante. la voiture se mit en marche sous l'action de la pesanteur ; sa vitesse s'accéléra jusqu'à ce que, au bas de la côte, elle atteignit 60 km : h. Là, en raison d'une courbe, la voiture dérailla ; elle traversa la place, vint monter sur le trottoir où elle coupa net un arbre dont le tronc avait plus de 0,30 cm. de diamètre. Le choc et la bordure du trottoir arrêtèrent, heureusement, le véhicule. Plusieurs personnes avaient été tuées ou blessées ; la voiture fut mise sous scellés et reconduite au dépôt ; lorsque l'enquête fut terminée, on fit sortir la voiture et tous ses organes fonctionnèrent normalement sans subir la moindre réparation !

Ainsi, par leur nombre, leur puissance, leur solidité, les soins apportés à leur réception, à leur vérification et à leur entretien, les freins des voitures, à Paris, semblent donner une garantie absolue de sécurité. Pourtant, les accidents sont nombreux. Pourquoi ? Parce que, et c'est là la conclusion de M. Monmerqué, *les agents ne se servent pas* de ces freins, ou s'en servent mal.

M. Von Leber, ingénieur du contrôle en Autriche, déclare que, dans ce pays, on a d'abord et avant tout cherché la simplicité. Ce n'est pas que les conditions locales ne soient pas défavorables ; loin de là ; le sol est très accidenté et les rampes rapides y sont nombreuses ; on en rencontre qui, sur une longueur de 1 500 m., ont une déclivité de 11 p. 100. Cependant, on n'a jamais songé à employer tant de freins. La traction est électrique ; le machiniste n'a à manœuvrer qu'une seule manivelle : dans un sens cette manivelle commande la marche avant ; tournée en sens contraire elle commande le freinage électrique. On n'a pas eu à déplorer d'accidents. M. von Leber explique que lui et ses collègues se considèrent comme les collaborateurs des compagnies ; celles-ci ont intérêt à ne pas avoir d'accidents et le contrôle veille seulement à ce que le public soit protégé ; ce dernier service évite de faire des règlements de détails, car souvent, 15 jours après leur apparition, on reconnaît qu'ils sont faux ou le sont devenus par suite des progrès réalisés. En adoptant des méthodes simples, on obtient d'aussi bons résultats ; le personnel connait bien son « outil » et s'en sert habilement ; cette simplicité lui laisse toute liberté d'esprit en cas de danger fortuit ; il ne sert a rien que les freins puissent arrêter la voiture sur un parcours de 20 m, si le machiniste lui laisse parcourir 30 m avant de songer à serrer les freins.

M. von Leber fait remarquer, cependant, qu'en Autriche, les trains ne comportent jamais plus de 2 voitures, une automotrice et une remorque. Lorsque les trains comportent un plus grand nombre de voitures, il serait sans doute nécessaire de recourir à des mesures de sécurité spéciales et notamment d'employer des freins continus agissant sur tous les essieux à la fois ; mais l'orateur n'ayant pas eu à étudier cette question en pratique ne veut pas donner d'avis précis. Dans tous les cas, le frein à main doit toujours être employé comme réserve.

Au sujet des freins électriques employés, M. von Leber donne les renseignements suivants : le freinage par contre-courant a été essayé, mais il a dû être abandonné comme dangereux, les moteurs brûlant trop souvent. On a adopté définitivement le freinage par mise des moteurs en court-circuit sur un rhéostat ; les résultats obtenus ont été très satisfaisants. On reproche souvent à ce dispositif de fatiguer les moteurs ; ce reproche n'est pas fondé ; ainsi, sur la ligne citée plus haut, où se trouve une rampe de 11 p. 100 sur une longueur de 1 500 mètres, on a fait descendre la voiture à la vitesse de 25 km : h, les moteurs étant fermés sur le rhéostat, puis immédiatement après, on a fait le trajet en sens contraire ; au bout de la montée, on n'a constaté aucun échauffement anormal des moteurs ; toute la chaleur semble se concentrer dans le rhéostat.

M. Fromm résume le rapport fait par l'Union allemande des Tramways sur la question des freins ; 63 sociétés avaient répondu au questionnaire, et différents types de freins, appliqués à différents modèles de voitures ont été expérimentés. La vitesse de la voiture étant de 22 km : h, les distances *minima* sur lesquelles elle a pu être arrêtée ont été les suivantes :

Le rail étant sablé		9,50 m	à	10 m
—	sec	9,90 m	à	10,94 m
—	humide	14,00 m	à	21 m

Les conclusions du rapport allemand, en ce qui concerne les freins électriques, sont que la mise en court-circuit des moteurs, donne des résultats satisfaisants comme frein de secours, mais entraine des accidents si elle est



REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

Rapport de la conductibilité calorifique et de la conductibilité électrique des métaux, par **Ed. Riecke**. *Drude's Ann.*, t. II, p. 835-843, août 1900.

Riecke compare les équations auxquelles conduit sa théorie pour déterminer le rapport des conductibilités à celles que donne la théorie de Drude [1].

L'équation de Drude est une simplification de celle de Riecke, due à ce que Drude suppose la force vive des électrons égale à la température absolue multipliée par la constante universelle des gaz.

La différence consiste surtout dans les valeurs du coefficient numérique x, coefficient que la théorie laisse indéterminé et qu'on choisit à peu près arbitrairement.

Il me paraît tout à fait superflu de pousser aussi loin la discussion, puisqu'une vérification numérique rigoureuse est actuellement impossible : la plupart des données nécessaires sont imparfaitement connues et, de plusieurs, on ne connaît que l'ordre de grandeur. M. L.

Phénomène de Hall dans les gaz de la flamme, par **E. Marx**. *Drude's Ann.*, t. II, p. 798-835, août 1900.

Un conducteur est parcouru par un courant dont la direction est celle de l'axe des X : $\frac{d\Pi}{dx}$ est la chute de potentiel par unité de longueur due à ce courant. Si ce conducteur est placé dans un champ magnétique d'intensité H dirigé suivant Oy, il se produira entre deux points de l'axe Oz, primitivement au même potentiel, une différence de potentiel e. C'est le phénomène de Hall ; le quotient :

$$\frac{1}{H}\left(\frac{e}{z} : \frac{\pi}{x}\right)$$

qu'on appelle coefficient de rotation est égal à la demi-différence entre les vitesses de migration des ions positifs et négatifs, d'après la théorie. Il est difficile de contrôler expérimentalement ce résultat dans le cas des électrolytes, parce que les quantités à mesurer sont trop petites. L'étude des flammes est plus favorable, car les ions de la flamme ont des vitesses envi-

employée d'une façon continue. Lorsque les trains sont lourds et que les voies présenteut des déclivités, le frein électro-magnétique doit être adopté.

Les freins à air comprimé ont donné de bons résultats, mais les expériences ne sont ni assez nombreuses ni assez longues pour que la commission en tire une conclusion.

M. Kohler, de Berlin, appuie la proposition de M. Monmerqué tendant à ce que cette question soit laissée à l'ordre du jour de la prochaine session. Il demande que les sociétés soient plus libérales de renseignements ; les freins sont des organes très nécessaires ; l'Administration a raison d'en imposer ; mais parfois ses prétentions sont exagérées et les compagnies doivent lutter contre leur adoption ; c'est dans ce but d'intérêt commun que les compagnies doivent fournir des renseignements.

M. Rohl, de Hambourg, explique que les sociétés allemandes, en faisant cette étude des freins, avaient pour but immédiat de lutter contre les prétentions de l'Administration qui voulait imposer l'emploi de chasse-corps ou « fenders ». Les compagnies, pensant que le meilleur chasse-corps est un bon frein, ont fait ces expériences et recherché sur quel parcours minimum l'arrêt peut être obtenu. Mais, puisque le rapport résumant ces expériences va être publié dans les comptes rendus du Congrès, il importe de faire observer que les longueurs d'arrêt obtenues dans ces expériences ne peuvent pas être admises dans la pratique. Les machinistes savaient que le but des essais était la manœuvre des freins ; ils commençaient le serrage en arrivant à un poteau ; les conditions, en pratique, sont bien différentes : les machinistes ont souvent à appliquer les freins au moment où ils s'y attendent le moins, en raison d'embarras des voies ou d'un signal fortuit ; dans ces cas, il faut compter avec la nervosité des agents, sur leur manque de sang-froid, sur le temps matériel nécessaire pour faire les manœuvres ; un agent nerveux serrera les freins à bloc en cas de danger imminent, alors que l'arrêt se produirait plus rapidement par un serrage progressif, en un mot, il faut introduire un « coefficient de réflexion », qui se traduit par un retard.

Les chiffres contenus dans le rapport de l'Union allemande ne peuvent donc pas faire autorité en pratique, ni surtout être invoqués par l'Administration ni devant les tribunaux.

[1] Cf. Riecke, *L'Éclairage Électrique*, t. XVIII, p. 204, 290, février 1899 ; Drude, *Ibid.*, t. XXIII, p. 348, juin 1900.



ron 10^6 fois plus grandes que celles des ions électrolytiques dans les dissolutions salines. Le phénomène de Hall doit donc être beaucoup plus marqué.

Seulement l'étude des flammes présente des difficultés d'un autre ordre. D'abord le courant dans les flammes ne suit pas la loi d'Ohm : en outre, dans la région centrale de la flamme où on doit placer les électrodes auxiliaires pour prendre la différence de potentiel due au phénomène de Hall, le champ est faible, condition défavorable puisque l'effet Hall est proportionnel à ce champ.

Pour augmenter ce champ, il faut toujours prendre comme cathode l'électrode principale dont la température est la plus élevée, ce qui ne permet pas de renverser le sens du courant primaire.

Les expériences ont été effectuées avec des champs magnétiques compris entre 3 000 et 8 500 unités CGS mesurés au moyen d'une spirale de bismuth.

La rotation des lignes de courant a lieu dans le sens opposé à celui du courant qui excite le champ : c'est le sens dit négatif comme dans le bismuth. Le coefficient de rotation est indépendant de l'intensité du champ magnétique, du champ électrique produit par le courant primaire et de la distance des électrodes. Il diminue quand on augmente la concentration des ions dans la flamme.

Les expériences s'écartent des conditions dans lesquelles le courant qui traverse la flamme obéit à la loi d'Ohm (Cf. loc. cit). Cette circonstance doit avoir pour conséquence une augmentation du coefficient de rotation. Effectivement les valeurs trouvées par l'expérience dans des conditions où il est presque certain que la loi d'Ohm n'est plus applicable, sont beaucoup plus grandes que les valeurs calculées en supposant la loi d'Ohm vérifiée.

D'autre part, d'après les expériences d'Arrhénius, la conductibilité d'une flamme varie comme la racine carrée de la concentration des ions : la dissociation dans la flamme doit donc être faible et dans ces conditions, la théorie fait prévoir que le coefficient de rotation doit être plus grand que la différence entre les vitesses de rotation des ions positifs et des ions négatifs.

Dans la flamme pure, c'est-à-dire ne recevant pas de dissolution saline, la vitesse des ions paraît être plus grande que dans la flamme contenant du chlorure de potassium. D'après ce résultat il est difficile de savoir quels sont, dans la flamme pure, les éléments qui servent de véhicule à l'électricité. Cependant il est probable que la conduction se fait dans la flamme pure suivant le même mécanisme que dans la flamme alcaline et que les ions sont H et OH. L'ion positif K possède une vitesse plus grande que la vitesse de H ; quand donc on l'introduit dans la flamme, on doit diminuer la différence des vitesses des deux ions, par suite, le coefficient de rotation. Cette influence doit croître avec la concentration des ions K : c'est justement ce que donne l'expérience.

En abaissant la température de l'anode, on obtient au-dessous d'une certaine limite un accroissement de vitesse de l'anion et on observe une rotation des lignes équipotentielles dans le sens positif, c'est-à-dire dans le même sens que pour le tellure.

Des expériences faites sur les différents chlorures alcalins, il résulte que le coefficient de rotation diminue quand le poids atomique de l'anion augmente. M. L.

(1) Marx, L'*Éclairage Électrique*, t. XXV, p. 127, octobre 1900.

Résistance intérieure de l'élément Weston

par **J. Klemencic**. *Drude's Ann.*, t. II, p. 848-853, août 1900.

L'élément Weston dont il s'agit est l'élément du type construit par « The European Weston Electrical Instrument C° ». Cet étalon est construit comme les étalons ordinaires au cadmium, à cela près que la dissolution de sulfate de cadmium est saturée à 4° et ne renferme pas de cristaux de sulfate de cadmium en excès.

M. Klemencic a mesuré la résistance intérieure de cet élément par la méthode suivante :

Un galvanomètre à fil fin de résistance ρ se trouve dans un circuit renfermant une pile de force électromotrice E et une résistance R.

En dérivation sur le galvanomètre est disposée une résistance r petite vis-à-vis de ρ et de R. L'intensité du courant qui traverse le galvanomètre est alors :

$$i = \frac{Er}{\rho R} = K\alpha$$



K étant la constante du galvanomètre.

On remplace alors la résistance r dans la dérivation par l'étalon de résistance S et de force électromotrice η_1.

Pour compenser en partie l'effet de cette force électromotrice sur le galvanomètre, on insère dans la branche du galvanomètre un second étalon de force électromotrice e, dans un sens convenable.

L'intensité dans le galvanomètre devient :

$$i = \frac{(E + \eta_1) s - (e - \eta_1) R}{H\rho} = K(\beta + \delta)$$

en négligeant la résistanco intérieure de l'élément de compensation vis-à-vis de ρ.

En renversant le sens de E, on obtient aisément la déviation qui correspond à cette force électromotrice avec la résistance intérieure s. Des valeurs de β, α, r on déduit s.

M. Klemencic a mesuré ainsi les résistances de :

Deux éléments Weston de la Weston Company.

Deux éléments Weston, en forme de II, avec cristaux de sulfate de cadmium en excès, construits d'après les règles données par la Reichsanstalt.

Deux éléments Clark, en forme de II, construits l'un suivant les règles de la Reichsanstalt, l'autre par Hartmann et Braun.

La résistance intérieure des quatre premiers est du même ordre de grandeur : celle des éléments Clark est notablement plus élevée, surtout celle de l'élément de Hartmann.

Dans les éléments de la Weston Company, la résistance décroît d'environ les 0,025 de sa valeur par degré d'élévation de température : elle varie peu avec le temps, contrairement à ce qu'on observe avec les éléments Clark. La force électromotrice reste aussi sensiblement constante : à dix-huit mois d'intervalle, la variation ne dépassait pas 1/10000.

M.-L.

Electrisation dans l'air liquide, par **H. Ebert et B. A. Hoffmann**. *Drude's Ann.*, t. II, p. 706-719, août 1900.

En plongeant dans l'air liquide un morceau de métal suspendu à un fil de cocon, on constate que le métal, quand on le retire, possède une forte charge négative. Cette expérience réussit toujours, n'importe avec quel métal et aussi avec les diélectriques, pourvu que l'air ait été quelque temps en ébullition.

Cette électrisation est due au frottement des particules de glace qui flottent dans l'air liquide : la glace de son côté se charge positivement. La nature du corps ne paraît pas influer sur l'intensité de l'électrisation : mais celle-ci est d'autant plus forte que l'air est plus sec.

Les expériences montrent que presque tous les corps, et surtout les métaux, frottés avec de la glace parfaitement sèche et fortement refroidie prennent une forte électrisation négative. Il y a lieu de tenir compte de cette circonstance dans toutes les expériences d'électricité où l'air liquide sert de réfrigérant.

Cette électrisation de la glace par frottement n'est pas sans importance au point de vue de la météorologie. Le frottement de l'eau, auquel on attribuait autrefois une grande importance, ne peut jouer aucun rôle dans les régions supérieures de l'atmosphère et dans les régions polaires. Les électrisations intenses qu'on observe sur le sommet des montagnes, quand un vent sec et froid projette des aiguilles de glace contre les rochers et qui donnent souvent naissance au feu Saint-Elme, l'électrisation positive marquée des régions supérieures par les froids rigoureux et secs sont sans doute en relation avec ces propriétés électriques de la glace.

Les observations récentes avec les ballons-sondes ont montré que les poussières sont entraînées avec rapidité jusque dans les hautes régions de l'atmosphère. Là elles peuvent bien s'électriser par frottement sur les aiguilles de glace des cirrus.

L'influence des rayons ultra-violets sur la conductibilité des gaz est particulièrement intense dans ces régions et les différences de potentiel créées par l'électrisation au contact de la glace suffisent à provoquer des décharges luminescentes : ce phénomène joue probablement un rôle important dans les aurores boréales.

M.-L.

Théorie thermodynamique de la thermo-électricité, réponse à M. Voigt, par **C. Liebenow**. *Drude's Annalen*, t. II, p. 636-649, juillet 1900.

Voigt a adressé à la théorie de Liebenow dif-

férentes objections (¹), auxquelles ce dernier veut répondre.

Il est certain que l'application du second principe de la thermodynamique aux phénomènes de conduction calorifique n'est pas justifiée à priori : mais le second principe n'étant qu'une généralisation des faits observés, on a toujours le droit de l'appliquer, tant que les conséquences ne sont pas contredites par l'expérience.

Quant au sens de la force électromotrice thermoélectrique, aucune théorie ne peut l'indiquer à priori : seule l'expérience peut décider à cet égard et il semble que les corps métalliques et les corps non métalliques se comportent différemment : le double signe $\pm$ est donc justifié.

Liebenow admet bien qu'un courant calorifique Q_1 est lié au courant électrique I_1 ; mais non que le courant I_1 provoque à son tour un courant secondaire Q_2 et ainsi de suite indéfiniment. A la rigueur, on peut dans le calcul considérer Q_1 comme la résultante de courants partiels tels que Q_2, Q_3..., etc. ; mais la somme de ces courants ne peut être autre que φ_1.

Dans la théorie du phénomène Peltier, Liebenow a écrit $\pm\varphi$ pour la quantité de chaleur, simplement pour indiquer si le courant calorifique a le même sens que le courant électrique ou le sens opposé.

Comme il a été dit déjà, les corps métalliques et les corps non métalliques se comportent différemment au point de vue du sens de la force thermoélectrique. Ce fait, surprenant au premier abord, doit être rapproché des phénomènes électrochimiques. Là aussi les ions métalliques sont tous positifs, les autres sont presque tous négatifs.

Quand les ions se séparent d'une solution à l'état de métal solide, le métal n'est plus électrisé. Ceci peut s'expliquer ou bien parce que chaque ion a perdu sa charge positive, ou bien parce qu'il retient une charge négative égale en valeur absolue à la première, à la faveur de l'attraction électrostatique, par exemple.

D'après la théorie de Liebenow, un atome-grammes d'un métal monovalent renfermerait ainsi à 0° environ 870 pet. cal. liées à l'électricité négative, soit moitié environ de la chaleur qu'il renferme en tout, suivant la loi de Dulong et Petit :

$$6,4 \times 273 = 1747,2 \text{ p. cal.}$$

Or, d'après cette loi, tous les métaux ont la même chaleur atomique ; ils doivent donc, à l'état solide, être monovalents, sans quoi toute la chaleur atomique devrait être attribuée à l'électricité et rien au métal.

La chaleur atomique de l'électricité négative et aussi celle des ions métalliques serait donc :

$$870 : 273 = 3,2$$

à peu près celle d'un gaz monoatomique, sous volume constant.

On est conduit ainsi à se représenter les métaux constitués comme l'admet Riecke dans sa théorie de la thermoélectricité. M. L.

Encore à propos de la théorie thermodynamique de la thermoélectricité d'après Liebenow, par **H. Voigt** (*Drude's Annalen*, t. III, p. 155-159, septembre 1900).

L'exactitude des conséquences définitives d'une théorie n'est pas une preuve suffisante de l'exactitude de la théorie elle-même, comme le prétend M. Liebenow.

M. Voigt pense que M. Liebenow ne justifie pas suffisamment l'application du second principe de la thermodynamique à des phénomènes irréversibles.

D'après M. Liebenow un courant calorifique est accompagné d'une force électromotrice, un courant électrique est accompagné d'un courant calorifique. Cependant, dans sa théorie, il considère à côté d'un courant calorifique provoqué par les conditions de température seulement un courant électrique, sans tenir compte de l'action calorifique de ce dernier. Cette manière de procéder ne serait légitime que si on voulait décomposer le phénomène en une succession de phénomènes alternativement thermoélectriques et électrothermiques, et même dans ce cas les conclusions de M. Liebenow ne sont pas soutenables.

Quant au double signe $\pm$, il ne s'explique pas dans une théorie où tous les paramètres considérés ont une valeur et un signe bien définis.

Enfin les applications de la théorie aux diélectriques conduisent à des résultats que l'expérience contredit. M. L.

(¹) *Écl. Élect.*, t. XXI, p. 360, déc. 1899.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXV. Samedi 10 Novembre 1900. 7e Année. — N° 45

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

EXPOSITION UNIVERSELLE

GROUPE ÉLECTROGÈNE DE 3000 KILOVOLTS-AMPÈRES DES ATELIERS D'AUGSBURG ET NUREMBERG RÉUNIS ET DE LA SOCIÉTÉ HÉLIOS

Le groupe électrogène des Vereinigte Maschinenfabrik Augsburg und Machinenbau-gesellschaft Nürnberg et de l'Helios Elektricitäts-Aktien-Gesellschaft est le plus puissant de l'Exposition. Il est formé d'un moteur à vapeur sortant des ateliers de construction réunis d'Augsburg et de Nuremberg accouplé directement à un alternateur de la Société anonyme d'Électricité Hélios de Cologne, alternateur caractérisé par cette particularité qu'il a été établi pour donner à la fois du courant alternatif simple ou des courants alternatifs triphasés.

Ce groupe, le seul de la section allemande avec moteur horizontal, est représenté sur la photographie des figures 1 et 2 prises : l'une du premier étage du côté de l'alternateur et l'autre du côté du cylindre.

Moteur a vapeur. — La machine à vapeur sortant des ateliers d'Augsbourg est à triple expansion à condensation et à quatre cylindres : deux à basse pression, un à moyenne pression et un à haute pression.

L'ensemble des quatre cylindres forme deux groupes en tandem attaquant un arbre unique portant le volant servant en même temps d'inducteur à l'alternateur. Cet arbre, en acier au creuset Krupp, est creux et ne pèse que 10 000 k environ.

Les deux manivelles placées à 90° l'une de l'autre sont équilibrées ; leur poids est d'environ 3 000 kg. Comme la plupart des pièces qui travaillent, elles sont en acier coulé et trempé.

Les bielles sont creuses, de façon à diminuer leur poids.



Fig. 1. — Vue du groupe de 3 000 kilovolts-ampères de la Société Hélios et des Ateliers réunis d'Augsbourg et de Nuremberg.

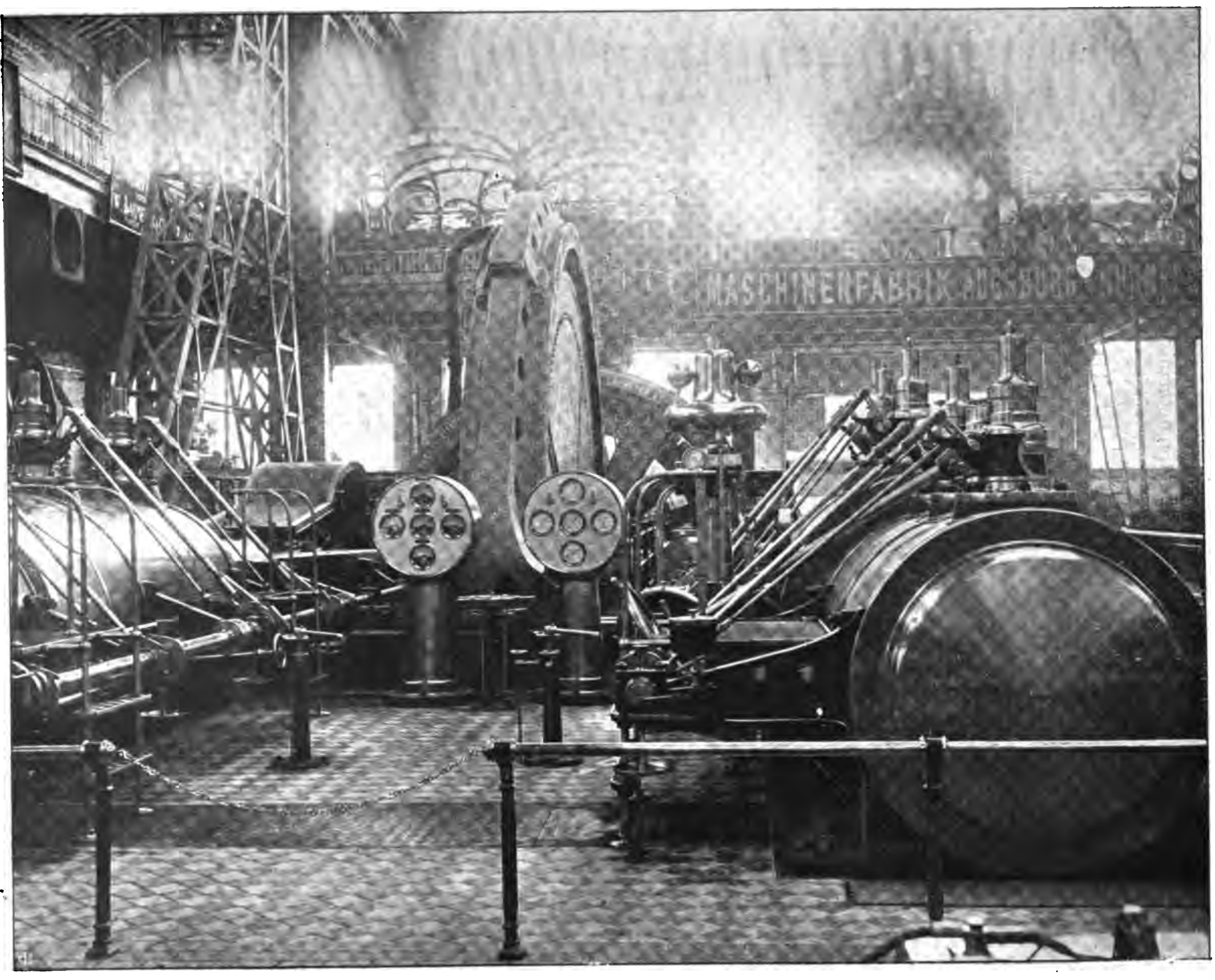


Fig. 2. — Vue du groupe Hélios et des Ateliers réunis d'Augsbourg et de Nuremberg montrant la distribution du moteur à vapeur.

Chacun des cylindres à haute et moyenne pression est monté avec un des cylindres à basse pression, lesquels ont un condensateur et une pompe à air distincts, cette dernière commandée par un balancier actionné par le bouton de manivelle.

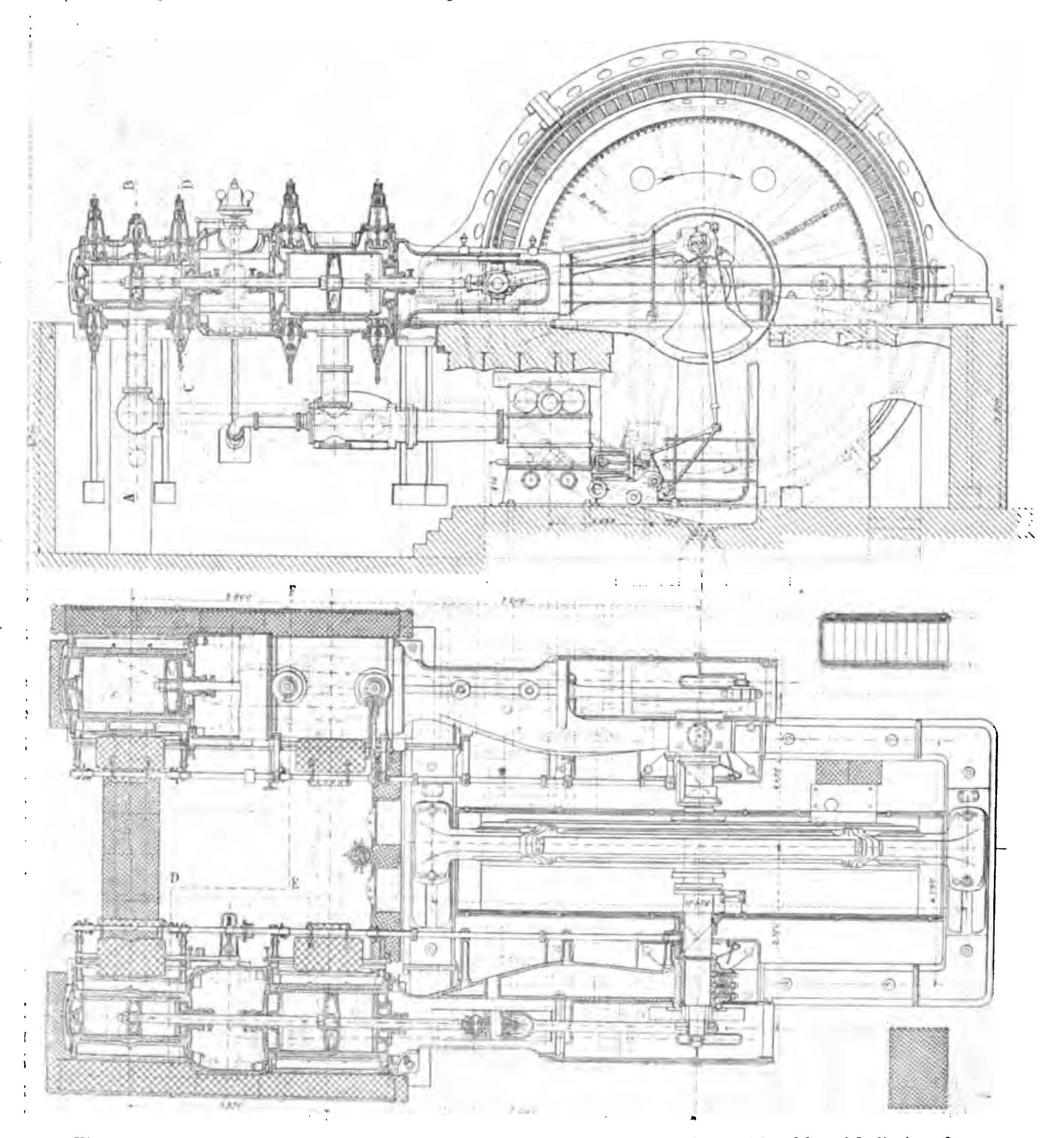


Fig. 3 et 4. — Vues et coupes diverses du moteur à vapeur de la Vereinigte Maschinenfabrik Augsburg und Machinenbaugesellschaft Nürnberg.

Les cylindres à basses pressions sont boulonnés sur les bâtis des glissières à baïonnette ; à leurs autres extrémités, ils portent des pièces cylindriques de jonction qui les relient à l'un ou l'autre des petits cylindres.

Cette disposition des cylindres à basse pression les plus voisins de l'alternateur, diminue l'échauffement du bâti de ce dernier.

Les coussinets des paliers sont en quatre parties réglables à volonté.

Les cylindres sont à enveloppes de vapeur, celle du petit cylindre est traversée par la vapeur avant son entrée dans ce cylindre. Les conduites intermédiaires sont également munies d'enveloppes de vapeur.

Le graissage des paliers se fait par circulations à huile avec réservoirs intermédiaires destinés à filtrer l'huile. Les pompes à huile sont mises en mouvement par les arbres de

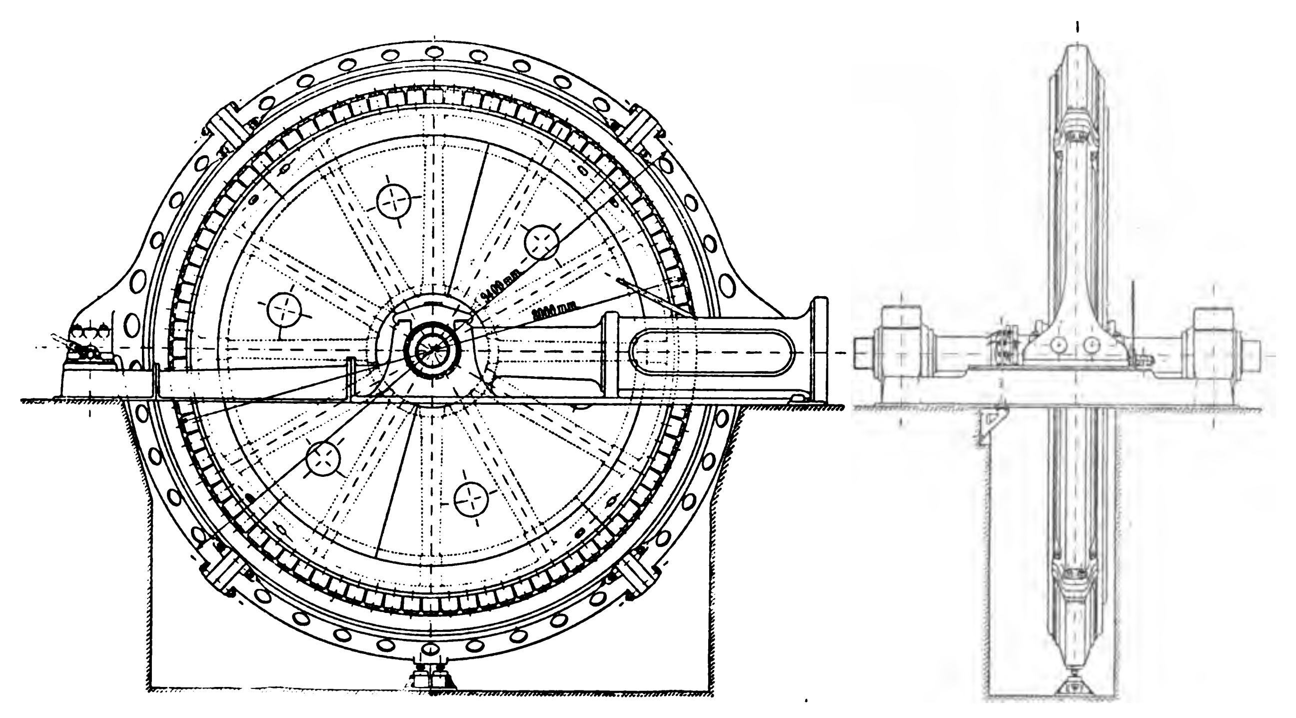


Fig. 5 et 6. — Vue de face et de bout de l'alternateur de 3000 kilovolts-ampères de l'Hélios Elektricitäts Gesellschaft.

commande des soupapes servant à la distribution de la vapeur dans les cylindres. Le graissage de ces derniers est obtenu également par de petites pompes à huile.

La distribution de la vapeur s'effectue à l'aide de soupapes équilibrées à double siège, actionnées par un système de leviers et de déclics mis en mouvement par deux arbres parallèles aux axes des deux groupes de cylindres. Ces arbres sont commandés par engrenage par l'arbre même du moteur.

La conduite d'arrivée de vapeur est munie d'une soupape placée au-dessus et au milieu du petit cylindre ; cette soupape est manœuvrée à l'aide d'un volant à portée de la main du mécanicien.

Le jeu des soupapes est commandé par des excentriques et des cames dont on peut faire varier le calage sur l'arbre de commande, de façon à faire varier l'échappement ou la compression.

Le régulateur agit uniquement sur les soupapes d'admission du cylindre à haute pression, mais un dispositif est prévu pour permettre de le faire agir également sur les soupapes d'admission du cylindrique à moyenne pression ou des cylindres à basse pression, de façon à permettre éventuellement le fonctionnement avec le cylindre à moyenne pression et les

cylindres à basse pression ou avec ces derniers seulement. Enfin, par la manœuvre d'un simple levier on peut, soit supprimer l'action du régulateur sur les organes de distribution, soit mettre le petit cylindre en dehors de la canalisation de vapeur.

Les appareils de contrôle et de mesures manomètres, tachymètre, indicateur de vide, sont disposés sur une colonne; une colonne analogue supporte les appareils de contrôle électrique.

Les principales dimensions de la machine sont les suivantes :

Diamètre du cylindre à haute pression	70 cm
» » à moyenne pression	110 »
» commun des cylindres à basse pression	115 »
Course des pistons	160 »
Vitesse angulaire normale en tours par minute	70 »

La pression de la vapeur est de 12 kg : cm^2.

A l'Exposition la machine tourne à 72 tours environ.

La puissance du moteur à vapeur est de 2 000 chevaux indiqués, elle correspond comme

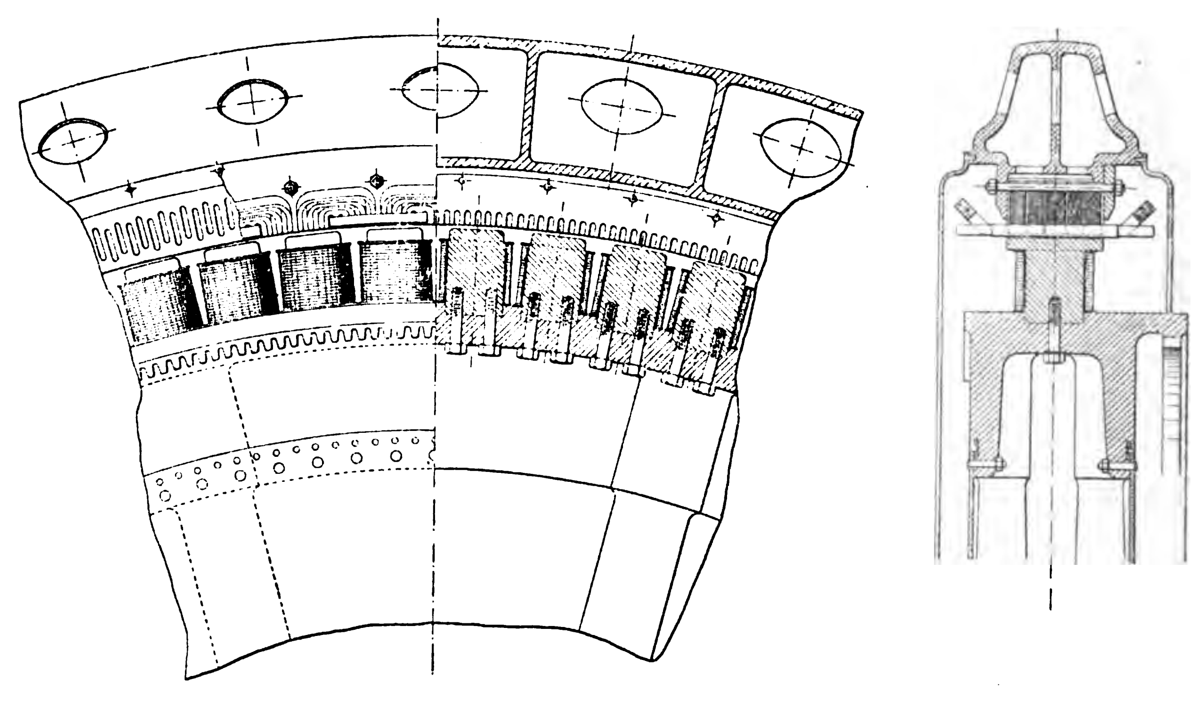


Fig. 7 et 8. — Coupe d'une partie de l'induit et de l'inducteur de l'alternateur de 3 000 kilovolts-ampères de la Société d'Électricité d'Hélios.

nous allons le voir à la puissance de l'alternateur considéré comme générateur à courant alternatif simple et avec un facteur de puissance de 0,7.

Cet emploi d'un moteur à vapeur d'une puissance aussi faible comparée à celle de l'alternateur travaillant sur résistances non-inductives, est assez courant maintenant, et a pour raison, le maintien d'un rendement journalier assez élevé, l'alternateur dans son service de jour n'ayant en général à fournir qu'une puissance vraie assez faible, correspondant à un facteur de puissance dans les installations modernes assez voisin de 0,7.

Le groupe complet a environ 21 m de long et 12 m de large, et la fondation ne comporte pas moins de 800 m^3 de maçonnerie et de béton.



Alternateur. — L'alternateur exposé par la Société d'Électricité Hélios est le plus puissant nominativement des générateurs à courants alternatifs simples ou polyphasés fonctionnant à l'Exposition. Il est actuellement le représentant le plus perfectionné d'un type installé par cette importante Société dans les stations centrales de Saint-Pétersbourg, de Cologne et d'Amsterdam, mais d'une puissance beaucoup plus grande.

C'est, en somme, un alternateur à courant alternatif simple de 2 000 kilovolts-ampères auquel on a adjoint, pour lui permettre de fournir des courants triphasés, un enroulement auxiliaire monté par rapport au premier comme l'enroulement auxiliaire d'un alternateur monocyclique de Steinmetz, mais différent de ce dernier par le rapport entre les tensions de l'enroulement auxiliaire et de l'enroulement principal, rapport qui est ici de $\frac{\sqrt{3}}{2}$ au lieu de $\frac{1}{4}$. Ce rapport $\frac{\sqrt{3}}{2}$ est celui indiqué par Scott pour la transformation des courants triphasés en diphasés ou réciproquement et le montage des deux enroulements est identique à celui préconisé par le savant ingénieur américain.

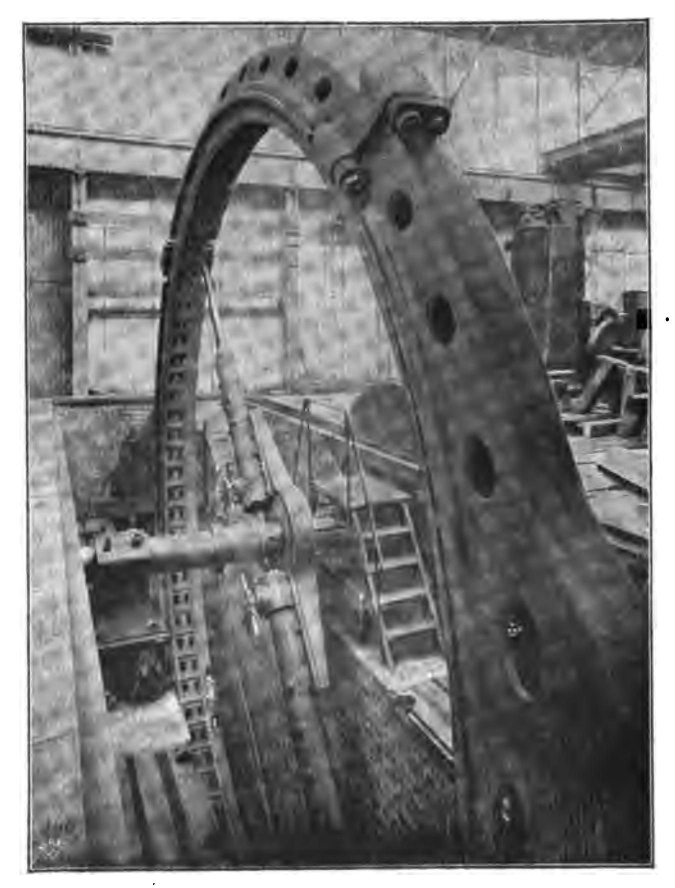


Fig. 9. — Alésage de la carcasse de l'induit de l'alternateur de la Société Hélios.

La puissance de l'enroulement auxiliaire est de 1500 kilovolts-ampères.

L'alternateur ayant été établi pour 2 000, 3 000 ou 6000 volts, suivant que l'on dispose toutes les bobines de chaque enroulement en série, ou en deux ou en trois séries en parallèle, la tension a été portée à 2 200 volts en augmentant la vitesse de l'alternateur de 1,5 tour environ, de façon à ramener la fréquence à 50 périodes par seconde.

A la tension de 2 200 volts la machine peut donc donner une puissance apparente de 2 000 kilovolts-ampères, soit 910 ampères de courant alternatif simple avec un facteur de puissance supérieur ou égal à 0,7.

La tension aux bornes de l'enroulement auxiliaire est de 1 910 volts et correspond, pour une puissance apparente de 1 500 kilovolts-ampères, à un débit de 788 ampères.

La puissance de la machine utilisée comme alternateur à courants triphasés pour une même densité de courant dans le fil induit de l'enroulement auxiliaire devra correspondre au même débit de 788 ampères par phase; la tension simple étant alors de 1 270 volts, la puissance apparente est de $3 \times 1\,270 \times 788 = 3\,000$ kilovolts-ampères, ce qui, avec un cos φ égal à 0,7, correspond à une puissance utile de 2 100 kilowatts au minimum.

En conservant au contraire dans l'enroulement principal la même densité de courant que pour le fonctionnement en alternateur à courant alternatif simple, soit un débit de



910 ampères dans ce circuit, on vérifie facilement que l'alternateur peut fournir à la fois une puissance apparente de 1 200 kilovolts-ampères au courant alternatif simple et une puissance apparente de 1 500 kilovolts-ampères en courants alternatifs triphasés toutes deux avec le même facteur de puissance.

L'intensité du courant dans la phase auxiliaire est alors seulement de 394 ampères.

Inducteur. — L'inducteur mobile (fig. 5 et 6), calé sur l'arbre de la machine à vapeur, est en fonte ; il est en quatre parties assemblées par de forts clavetages.

Les noyaux inducteurs en acier coulé, au nombre de 84, sont placés sur la jante du volant dans des trous pratiqués à cet effet et sont fixés chacun par deux boulons traversant, pour des raisons mécaniques faciles à comprendre, complètement la jante.

Les figures 7 et 8, qui représentent des coupes d'une partie de l'induit et de l'inducteur, montrent bien ce dispositif.

Les noyaux polaires, circulaires, d'un diamètre de 21 cm environ, sont surmontés par des épanouissements de telle forme et de telle largeur que la courbe de la tension se rapproche le plus possible d'une sinusoïde. La longueur de ces épanouissements, parallèlement à l'axe de la machine, est de 35 cm et leur largeur de 20 cm environ.

Chaque noyau porte une bobine formée d'un ruban de cuivre enroulé sur champ ; le nombre de spires de chaque hélice est de 50 et le poids de cuivre total de l'inducteur de 3 500 kg. Toutes ces bobines sont montées en série et la résistance du circuit ainsi formée, est de 0,7 ohm.

Le volant est muni de flasques en tôle qui en augmentent la solidité.

Le diamètre de celui-ci est de 8 m : c'est le plus grand diamètre atteint pour les alternateurs de l'Exposition ; le poids du volant complet, sans l'arbre, est de 76 tonnes dont le quart seulement est utilisé au point de vue électromagnétique.

La masse du volant a un moment d'inertie de 415 000 kg-m² correspondant à une durée d'oscillation de l'alternateur d'une seconde.

Le rapport de la durée d'une oscillation à la durée d'un tour est dans les bonnes limites pour permettre une mise en parallèle facile et durable.

Le coefficient d'irrégularité est de $\frac{1}{500}$.

L'influence de la force centrifuge mesurée par le rapport entre cette force et le poids du volant est assez faible.

La force centrifuge a pour valeur $F = \frac{mv^2}{r}$ et le poids $P = mg$. Le rapport K de ces deux quantités est : $K = \frac{v^2}{gv} = \frac{v^2}{10r}$.

La vitesse circonférentielle étant ici d'environ 30 mètres, le rapport K est égal approximativement à 23, chiffre très faible et permettant sans dangers l'emploi de la fonte.

La jante dont la section trapézoïdale assez haute a été déterminée par des considérations mécaniques est raidie encore par des nervures, de façon à pouvoir résister à des différences d'entrefer assez sensibles.

La largeur de la jante est d'environ 60 centimètres.

Induit. — L'induit est supporté par une carcasse de section trapézoïdale ; cette carcasse est en quatre parties assemblées avec des boulons. Les joints sont situés dans deux plans inclinés à 45° et la partie inférieure porte un support qui limite la déformation possible de cette partie.

Cette couronne peut être glissée latéralement à l'aide de deux cliquets actionnant des vis tangentes.



Pour éviter les déformations de l'induit, on a dû aléser la carcasse dans sa position naturelle, c'est-à-dire en la plaçant verticalement. L'alésage de cette pièce, de 9 m environ de diamètre, n'a pas été sans présenter quelques difficultés ; on a dû construire une machine à aléser spéciale comportant deux outils placés à 180° l'un de l'autre. La photographie de la figure 9 montre cette opération.

L'alésage terminé, les quatre morceaux de la couronne ont été démontés et bobinés sauf aux extrémités (fig. 10).

Les tôles induites sont partagées en cinq parties, dont l'une, la partie centrale, est un peu plus large que les autres, les paquets de tôles ménagent ainsi entre eux des canaux de ventilation importants qui permettent de ne pas dépasser une surélévation de température supérieure à 35°. Des ouvertures sont en outre disposées sur la carcasse en regard des tôles et sur la partie extérieure.



Fig. 10. — Extrémité d'un des quarts d'induit montrant l'emplacement des paquets de tôles à mettre en place après assemblage de l'induit.

Pour éviter l'influence des joints des diverses parties de la couronne, on a reporté les joints correspondants à trois des séries de paquets de tôles en dehors du joint de la carcasse.

Les paquets de tôles correspondants sont mis en place, à cheval sur les deux voussoirs voisins, seulement après l'assemblage de la carcasse.

Le diamètre d'alésage de l'induit est de 8,024 m et la largeur totale des tôles de l'induit de 35 cm.

L'entrefer est donc de 12 mm.

Le diamètre extérieur atteint 9,40 m et la largeur totale, y compris les protecteurs, de 80 cm environ.

Le bobinage est réparti dans 672 encoches, soit 8 par pôles. Sur ces 8 encoches, 6 reçoivent une bobine du circuit principal faite en trois parties coaxiales. Les 84 bobines du circuit principal sont partagées en trois séries de 28 bobines et les trois séries sont montées en parallèle. Les milieux de ces trois séries sont connectés entre eux et avec l'une des extrémités du circuit auxiliaire.

Cet enroulement auxiliaire ne comporte qu'une seule bobine par paire de pôles ; chaque bobine est formée de deux bobines élémentaires de même axe. Les 42 bobines de ce circuit sont partagées en trois séries de 14 bobines et les trois séries sont montées en parallèle.

On voit facilement que les forces électromotrices induites dans les deux enroulements sont exactement décalées à un quart de période.

Par suite de la plus faible intensité du courant dans le circuit auxiliaire et par suite aussi de la plus faible chute de tension inductive dans ce circuit, les bobines auxiliaires ont pu

être faites avec un câble de section beaucoup plus faible que celui employé pour les bobines du circuit principal.

On arrive ainsi facilement à créer une tension en charge d'environ 136 volts par bobine auxiliaire pour une tension de 78,5 par bobine principale, de façon à obtenir les tensions totales de 1 910 volts pour le circuit auxiliaire et 2 200 pour le circuit principal.

La différence de chute de tension inductive dans les deux circuits tient à ce que pour des

Fig. 11. — Bobinage de l'induit de l'alternateur de 3 000 kilovolts-ampères dans les ateliers de la Société Hélios.

charges non inductives, par exemple, et égales sur les trois conducteurs de la ligne, le circuit auxiliaire est chargé avec un facteur de puissance égale à l'unité, tandis que les deux moitiés de la charge principale le sont avec un facteur de puissance de 0,886 (cos 30°), ainsi qu'on peut s'en rendre compte facilement en construisant le diagramme des tensions et des courants. Pour des charges inductives égales le phénomène est analogue.

La plus grande chute de tension ohmique consentie dans l'enroulement auxiliaire permet donc d'équilibrer plus ou moins exactement la chute de tension dans les deux moitiés du circuit principal.

La dissymétrie introduite par la prise simultanée d'un courant alternatif simple et de courants alternatifs triphasés, a pour effet de remplacer le triangle équilatéral des tensions par un triangle isocèle dont la base sera d'autant plus raccourcie qu'on prendra une plus forte charge en courant alternatif simple pour un débit constant en courants triphasés.

Ces dissymétries ne doivent du reste être considérées que comme grandeur de correc-



tion ; elles sont d'ailleurs du même ordre que celles introduites dans les alternateurs à courants triphasés avec charge non équilibrée sur les trois circuits.

La photographie de la figure 11 montre le bobinage des quatre quarts de l'induit dans les ateliers de la Société Hélios.

Les encoches de l'induit sont légèrement fermées et les rebords servent à maintenir en place des cales qui retiennent les bobines isolées par des caniveaux en micanite.

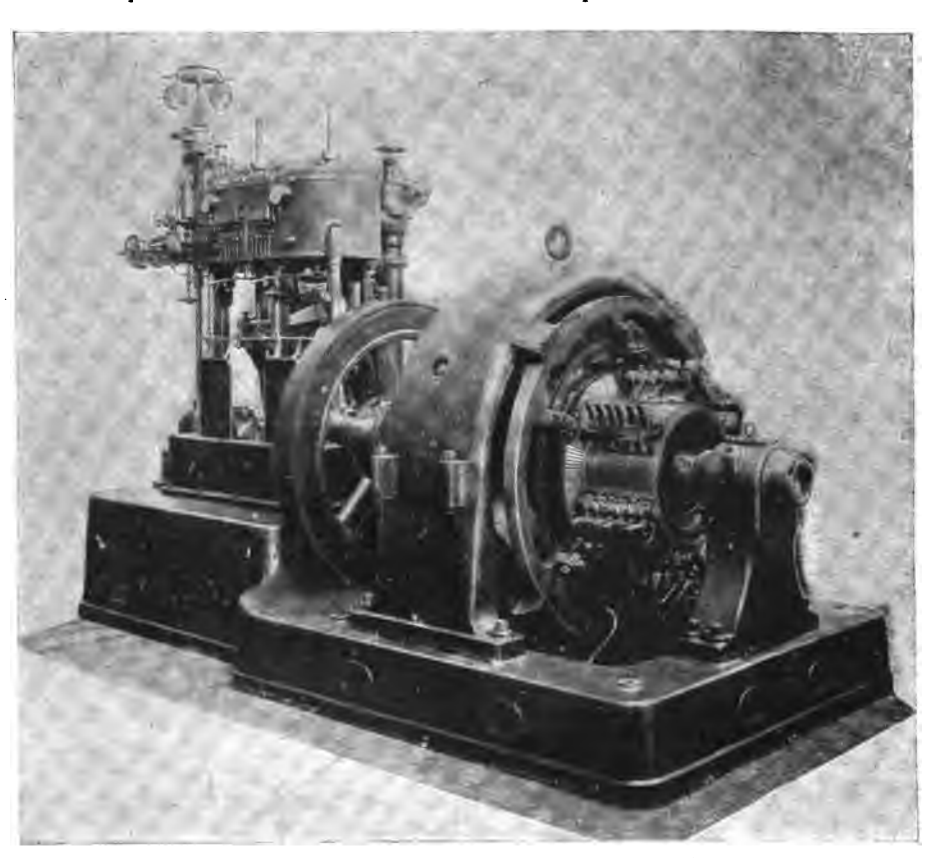


Fig. 12. — Excitatrice séparée de l'alternateur de 3 000 kilovolts-ampères de la Société Hélios.

Excitatrice. — L'excitatrice est séparée ; c'est une machine à courant continu à 6 pôles, accouplée directement avec une petite machine à vapeur verticale à double expansion sortant des ateliers Schichau d'Elbing. Sa puissance est de 50 kilowatts sur 110 volts à 240 tours par minute.

La carcasse inductrice est en fonte et les noyaux polaires y sont fixés chacun par un boulon maintenu dans sa position par une clavette.

L'induit porte un enroulement en tambour bien ventilé dont les conducteurs sont directement soudés aux lames du collecteur sans interposition de connecteur. L'ensemble des balais peut être déplacé pour le nettoyage, la position des balais est invariable depuis la marche à vide jusqu'à la pleine charge.

L'intensité du courant d'excitation pour obtenir une tension de 2 200 volts à vide aux bornes de l'alternateur est de 120 ampères ; en pleine charge avec un facteur de puissance de 0,7 l'intensité du courant d'excitation atteint 180 ampères correspondant à une perte de puissance de 24 000 watts, soit environ 1 p. 100 de la puissance vraie utilisée.



Montage.— Le montage du groupe des Sociétés réunies d'Augsbourg et de Nuremberg et de la Société Hélios a été assez difficile à l'Exposition par suite du poids exagéré des pièces à manœuvrer. Le pont Karl Flohr de 25 tonnes de la section allemande étant insuffisant, on a dû installer un pont spécial. Le poids total du groupe est de 350 tonnes.

ACCUMULATEURS DE L'ACCUMULATOREN-FABRIK AKTIENGESELLSCHAFT

Cette importante société qui possède plusieurs grandes usines : à Hagen en Westphalie, à Hirschwang en Autriche, à Budapest en Hongrie et à Saint-Pétersbourg, en Russie, —

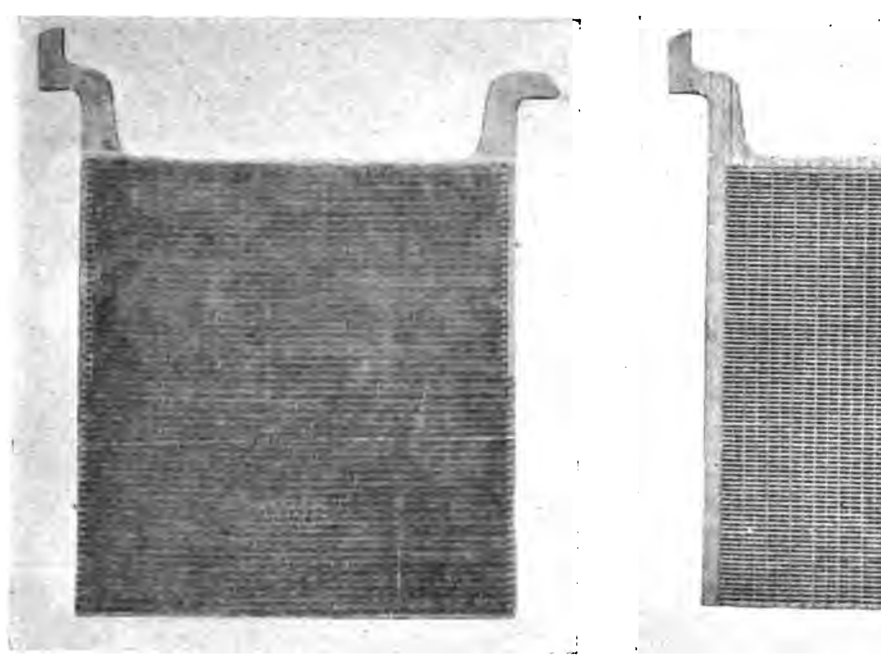


Fig. 1. — Plaque positive.

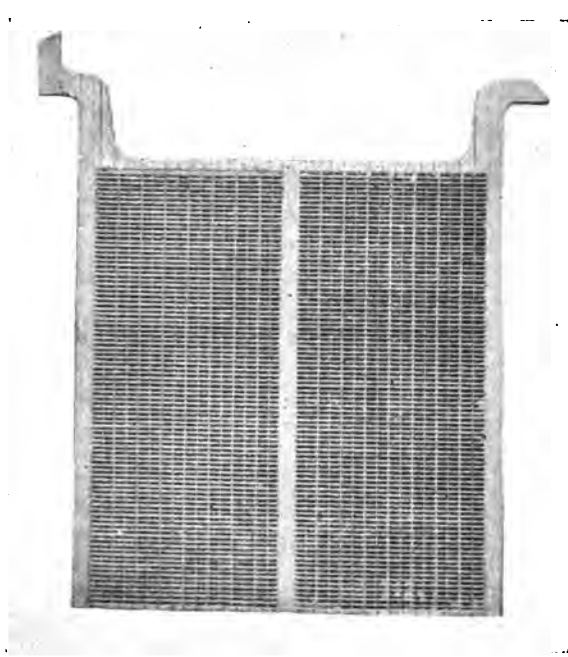


Fig. 2. — Plaque négative.

Accumulateurs de l'Accumulatoren-Fabrik Aktiengesellschaft.

construit des accumulateurs pour toutes applications : éclairage électrique, transmission d'énergie, tramways, bateaux, automobiles, éclairage des véhicules, télégraphes, etc.

Plaque positive. — Primitivement la société fabriquait pour ses plaques positives des quadrillages coulés en plomb doux et constitués d'une âme épaisse munie d'un assez grand nombre de nervures horizontales. La plaque ainsi coulée était formée suivant le procédé Tudor ; pour cela, elle était peroxydée superficiellement d'après la méthode de Planté, puis les intervalles des nervures étaient empâtés de matière active d'après la méthode de Faure ; il ne restait plus ensuite qu'à soumettre la plaque à une deuxième formation pour peroxyder l'empâtage.

Dans la suite, les nervures furent coulées plus fines et plus larges ce qui augmentait la surface active de la plaque après la chute de la matière active. Puis les plaques furent en outre munies d'un certain nombre de nervures transversales (verticales) qui contribuèrent à en augmenter la rigidité.

A partir de ce moment, l'empâtage fut supprimé, et les plaques qui offraient une grande surface furent seulement formées par le procédé Planté.

Enfin, par un perfectionnement plus récent de l'opération de coulée, on put supprimer



complètement l'âme des plaques malgré l'extrême finesse des nervures, et par suite diminuer le poids des plaques sans en affaiblir la rigidité, suffisamment assurée par les nervures transversales.

La plaque positive actuelle se compose donc, ainsi que le montre la figure 1, d'un quadrillage coulé en plomb doux et possédant sur ses deux faces un nombre considérable de fines nervures verticales très rapprochées et de section triangulaire, le sommet étant à la surface et la base au milieu de la plaque qui ne possède pas d'âme. Des nervures horizontales bien plus espacées donnent de la rigidité à la plaque qui est munie d'un cadre et de deux queues de suspension. La figure 1 se rapporte à une plaque positive ayant environ 30 cm hauteur et 28 cm largeur; la finesse des nervures verticales est telle qu'il y a onze de celles-ci par centimètre. Les nervures horizontales sont espacées de 5 mm environ.

Plaque négative. — La plaque négative représentée en figure 2 est une grille dont les barreaux verticaux et horizontaux forment des alvéoles rectangulaires dont le plus grand côté est dans le sens horizontal. Ces alvéoles sont remplis d'un empâtage spécial à base de litharge, qu'on réduit par le courant pour le transformer en plomb spongieux. La plaque négative représentée en figure 2 a les mêmes dimensions extérieures que la plaque positive de la figure 1.

Éléments à poste fixe. — Le montage des plaques s'effectue dans des bacs en verre pour les petits éléments et en bois doublé de plomb pour les gros. Dans le premier cas, les plaques reposent par les talons qu'elles portent à la partie supérieure sur les bords du bac; dans le deuxième cas ces mêmes talons reposent sur des dalles en verre qui s'élèvent audessus du niveau de l'acide de façon à empêcher le dépôt de matière active en suspension dans l'électrolyte de venir se produire sur les bords de ces dalles; on évite ainsi la formation de courts-circuits.

Les plaques de même polarité sont réunies entre elles par soudure à une barrette de connexion en plomb.

Le tableau suivant donne quelques valeurs caractéristiques de ces éléments.

Nature du bac		verre	bois doublé de plomb
Numéro du type.		G 10	G 44
Dimensions extérieures du bac	hauteur en mm . .	505	600
	longueur » . .	215	465
	largeur » . .	245	525
Nombre de plaques.		10 + et 11 —	44 + et 45 —
Poids total de l'élément	sans acide, en kg.	41	210
	avec acide.	63	298
Capacités aux différents régimes pour l'élément G 10 à décharges lentes.	10 heures .	242 amp.-h. à 24 amp.	1 197 amp.-h. à 119 amp.
	7,5 » .	222 » à 29,6 »	1 100 » à 146 »
	5 » .	201 » à 40 »	1 003 » à 200 »
	3 » .	180 » à 60 »	891 » à 297 »
Capacités aux différents régimes pour le même élément G.S.10, à décharges rapides.	3 heures .	171 » à 57 »	849 » à 283 »
	2 » .	147 » à 73,5 »	729 » à 364 »
	1 » .	123 » à 123 »	610 » à 610 »

La densité de l'acide employé est 1,18 (22° B.). Pour les décharges lentes, de dix heures à trois heures, la différence de potentiel finale doit être 1,83 volt. A la décharge en une heure, on peut descendre à 1,75 volt.

Pour la charge à intensité constante, l'intensité maxima permise est variable avec la rapidité de la décharge; ainsi pour l'élément G 10 elle est de 60 ampères dans le cas de décharges lentes, et 75 ampères dans le cas de décharges rapides.

Éléments transportables. — Dans cette catégorie, nous trouvons des éléments pour

éclairage des trains, des tramways et des voitures, pour la propulsion des bateaux électriques, pour la télégraphie et la téléphonie, et enfin des éléments pour laboratoires.

Ces différents types ont sensiblement les mêmes capacités spécifiques; ils diffèrent principalement par les dimensions des plaques.

Nous donnons dans le tableau suivant les principales constantes d'un élément type GO 50 n° III pour éclairage des trains, et dont le bac est en ébonite.

Dimensions extérieures de l'élément.	hauteur, en mm	275
	longueur »	120
	largeur »	190
Nombre de plaques		3 + et 4 —
Dimensions des plaques	hauteur, en mm	190
	largeur »	160
	épaisseur »	11 (+) 6 (—)
Poids des plaques positives, en kg.		7,95
» négatives »		4,40
Poids total d'électrodes		12,35
Poids d'acide sulfurique ($d = 1{,}18$)		3,54
Poids total de l'élément.		20,00
Capacités aux différents régimes.	10 heures	111 amp.-h. à 11 amp.
	7,5 »	100 » à 13,5 »
	5 »	91 » à 18 »
	3 »	78 » à 26 »
Intensité maxima de charge, en ampères		30

La plaque négative employée ici a une forme différente de celle donnée par la figure 2. C'est une grille dont les barreaux sont inclinés, ce qui donne aux alvéoles la forme de losanges que des nervures horizontales viennent couper en deux.

Éléments de traction automobile. — Ces éléments montés avec bacs en ébonite sont calculés de plus grande capacité spécifique que les précédents, ainsi qu'on peut le constater par les valeurs suivantes qui se rapportent à l'élément O 72 n° III.

Encombrement total de l'élément (connexions comprises).	hauteur en mm	377
	longueur »	109
	largeur »	186
Nombre de plaques		3 + et 4 —
Poids de l'élément monté, en kg.		17,3
» d'acide en kg.		3,2
» total de l'élement en kg.		20,5
Capacités aux différents régimes.	5 heures	130 amp.-h. à 26 amp.
	4 »	120 » à 30 »
	3 »	108 » à 36 »
	2 »	86 » à 43 »
	1 »	65 » à 65 »

Comme particularité intéressante de l'exposition de cette société, nous signalerons ici un élément monstre qu'on a placé avec les machines de la section allemande.

Cet élément, du prix de 9 375 fr, peut donner une capacité de

50 000 amp.-h. au régime de 5 000 ampères
25 000 » » 25 000 »

Il se compose de 20 plaques positives et 21 plaques négatives supportées par des dalles de verre et séparées par des tubes de verre. Le montage est effectué dans un réservoir cubique en bois, ayant 2 m de côté. Pour faciliter l'inspection, les panneaux en bois formant les parois de ce bac ont été remplacés par des glaces.

Les plaques de même polarité sont réunies entre elles par soudure à une énorme



barrette en plomb renforcée de bandes de cuivre et ne renfermant pas moins de 35 kg de plomb et 25 kg de cuivre chacune.

Mentionnons également comme curiosité un élément de la batterie dont s'est servi Nansen lors de son expédition au pôle nord, pour l'éclairage de son navire le *Fram*.

ACCUMULATEURS PESCETTO [1]

Les plaques type Pescetto ont été déjà décrites dans ce journal [2] à propos du concours d'accumulateurs de l'Automobile-Club. Rappelons ici que la plaque positive, en plomb antimonié, possède une âme et des nervures horizontales rabattues de façon à former un très grand nombre de griffes qui retiennent la matière active. La plaque négative, en plomb antimonié également, n'a pas d'âme; c'est un simple grillage ayant cette particularité qu'à tous les points de croisement des barreaux qui le composent les arêtes ont été soulevées en forme de pointes qui sont rabattues sur la matière active après l'empâtage.

La « Societa Italiana di Elettricita » qui fabrique ces plaques constitue avec elles 3 types différents d'éléments :

1° Accumulateurs à charge et décharge normales, pour stations centrales (catégorie P) ;

2° Accumulateurs à décharge rapide, pour stations centrales (catégorie P R) ;

3° Accumulateurs à charge et décharge rapides, pour traction (catégorie R P R).

Les accumulateurs de la première catégorie (P) sont employés dans les stations centrales d'éclairage. Le tableau suivant donne les principales constantes de ces éléments.

Type de l'élément		13 P	23 P
Nature du bac		Verre	Bois plombé
Nombre de plaques		7 + et 8 —	8 + et 9 —
Dimensions des plaques positive et négative en millimètres	hauteur	167	370
	largeur	167	320
	épaisseur	8	9,5
Type de la plaque		C	H
Poids de la plaque positive, en kilogr.		1,42	7,0
» » négative, »		1,41	6,7
Poids total de plaques, »		21,23	116,0
Dimensions extérieures de l'élément, en millimètres	hauteur	230	464
	largeur	197	430
	longueur	370	530
Poids de l'élément monté, sans acide, en kilogr.		31,56	143,83
» de l'eau acidulée, en kilogr.		12,39	65,655
» total de l'élément complet, en kilogr.		43,95	209,485
Capacités aux différents régimes.	13 h. 40	233 amp.-h. à 17 amp.	1 273 amp.-h. à 93 amp.
	10 h. 42	227 » à 21 »	1 244 » à 116 »
	8 h. 24	223 » à 27 »	1 219 » à 145 »
	6 h. 51	218 » à 32 »	1 197 » à 174 »
	5 h. 49	216 » à 37 »	1 180 » à 204 »
	5 h.	213 » à 43 »	1 162 » à 232 »
Intensité maxima de charge, en ampères.		43	232

Les accumulateurs de la catégorie P R sont spécialement destinés aux stations de tramways. Ils sont constitués de la même façon que ceux de la catégorie P. Toutes les constantes données plus haut restent donc les mêmes ; les capacités aux régimes élevés sont données par le tableau suivant qui se rapporte aux deux types précédents.

---

(1) Exposés, Palais de l'Electricité, Classe 25.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. XXII, p. 135, 27 janvier 1900.

Type de l'élément.		13 P.R.	23 P.R.
Capacités aux différents régimes.	4 h.	212 amp.-h. à 53 amp.	1 163 amp.-h. à 291 amp.
	3 h. 16	208 » à 64 »	1 141 » à 349 »
	2 h. 45	205 » à 74 »	1 124 » à 407 »
	2 h. 23	202 » à 85 »	1 107 » à 465 »
	2 h. 5	200 » à 96 »	1 094 » à 523 »
	1 h. 52	198 » à 106 »	1 085 » à 581 »
Intensité maxima de charge, en ampères.		64	349

Si on rapporte les capacités données par ces deux catégories au kilogramme de plaques, on a pour les capacités massiques les valeurs suivantes :

	Durée de la décharge.	Intensité massique en amp : kg de plaques.	Capacité massique en amp-h : kg de plaques.
Catégorie P.	13 h. 40	0,80	10,93
	10 h. 42	1,00	10,70
	8 h. 24	1,25	10,50
	6 h. 51	1,50	10,27
	5 h. 49	1,75	10,18
	5 h.	2,00	10,00
Catégorie P.R.	4 h.	2,50	10,00
	3 h. 16	3,00	9,80
	2 h. 45	3,50	9,62
	2 h. 23	4,00	9,53
	2 h. 05	4,50	9,37
	1 h. 52	5,00	9,33

Les éléments de la catégorie R P R sont réservés aux applications de traction, tramways et automobiles.

Les plaques employées ici sont plus minces, leur épaisseur est d'environ 6 mm. Le rapport du poids de matière active au poids total de la plaque est de 27 p. 100 pour la positive et 29 p. 100 pour la négative.

Un élément d'automobile, d'un poids total de 16 kg, a comme constantes principales les valeurs suivantes :

		6 R. P. R.
Type de l'élément		
Nature du bac.		Ebonite.
Dimensions extérieures de l'élément, en millimètres	hauteur	215
	largeur	177
	longueur	151
Poids de plaques, en kg.		12,55
Poids total de l'élément, avec liquide, en kg.		16,00
Capacités aux différents régimes	5 h. 36	175,7 amp.-h. à 31,4 amp.
	4 h. 35	172,5 » 37,6 »
	3 h. 52	169,8 » 43,9 »
	3 h. 20	167,6 » 50,2 »
	2 h. 55	165,3 » 56,5 »
Intensité de charge, en ampères		25,10

En rapportant les capacités ci-dessus au kilogramme de plaques, on trouve :

Durée de la décharge	Intensité massique en amp. : kg de plaques.	Capacité massique en amp.-h. : kg de plaques.
5 h. 36	2,5	14,00
4 h. 35	3,0	13,75
3 h. 52	3,5	13,53
3 h. 20	4,0	13,33
2 h. 55	4,5	13,12

Ces chiffres ne sont exacts que lorsque l'intensité massique de charge employée est de 2 ampères par kilogramme de plaques.



Pour les éléments de tramways à charge rapide, le régime de charge peut être porté jusqu'à 20 ampères par kilogramme de plaques; mais il en résulte une diminution de la capacité donnée plus haut. Cette diminution qui se fait dans le même rapport pour les différents régimes, de 2,5 à 4,5 amp. : kg de plaques, résulte nettement des chiffres du tableau suivant, donnés par le constructeur.

Intensité massique de charge, en amp. : kg de plaques.	Durée de la charge	Capacité massique en amp.-h : kg de plaques (au régime de décharge de 4,5 amp. : kg de plaques).
2,0	7 h. 30	13,12
2,3	5 h. 39	11,25
4,0	2 h. 45	9,45
6,0	1 h. 40	8,47
8,0	1 h. 7	7,50
10,0	0 h. 48	6,60
12,0	0 h. 35	5,62
15,0	0 h. 24	4,72
20,0	0 h. 15	3,75

J. Reyval.

CONGRÈS INTERNATIONAL D'ÉLECTRICITÉ [1]

ÉTUDE SUR LES TRANSFORMATEURS STATIQUES, par J.-L. Routin.

Le principe des transformateurs statiques se présente avec une admirable simplicité, et, cependant, l'étude d'un transformateur est l'un des problèmes les plus complexes que l'on rencontre dans l'art de la construction électro-mécanique.

Dès qu'on l'aborde, on se trouve en présence d'un nombre respectable de paramètres variables qui semblent n'avoir entre eux aucune relation directe.

C'est ainsi que l'on a à choisir successivement : la section du noyau, sa hauteur, la distance entre deux noyaux voisins, la valeur de l'induction magnétique et le poids de cuivre à employer. Tous ces paramètres sont, *a priori* , indépendants les uns des autres à cette seule condition, qui apparaît avec évidence, que la hauteur des noyaux et leur espacement doivent laisser pour le bobinage une place suffisante.

Il nous faudra, pour les relier entre eux, faire intervenir les conditions de fonctionnement de l'appareil ; nous arriverons ainsi, en nous aidant de quelques remarques spéciales qui simplifieront le problème, à un choix judicieux des différents éléments de la construction.

Nous établirons tout d'abord un théorème qui nous fera connaître la répartition la plus économique du cuivre entre le primaire et le secondaire. Notre démonstration prouvera que la loi que l'on admet généralement (et qui consiste à égaliser les pertes au primaire et au secondaire) n'est pas toujours exacte.

Nous étudierons ensuite une épure générale qui nous fournira la solution du problème suivant :

Etant donnée une carcasse magnétique de dimensions déterminées et un poids total de cuivre invariable, quels sont les effets de la variation de l'induction sur les conditions générales de fonctionnement (consommation à vide, chute ohmique de tension, rendement, et échauffement des différentes parties).

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXIV, p. 275, 294, 334, 374, 414 et 486, 18 et 25 août, 1, 8, 15 et 22 septembre.

****

L'examen de cette épure nous montrera que la meilleure utilisation industrielle ne correspond pas aux conditions théoriques du rendement maximum. Elle nous fera, de plus, connaître la relation qui existe, pour un poids de matériel actif déterminé, entre les différents éléments de fonctionnement.

Entrant plus avant dans la discussion du problème, nous établirons une relation, entre la hauteur et l'espacement des noyaux, qui correspond au minimum de la perte par hystérésis.

Nous discuterons l'influence des variations des dimensions de la carcasse, puis des variations de la section des noyaux.

Enfin, pour terminer cette étude, nous rechercherons quelle est la forme la plus avantageuse à adopter pour ladite section.

Répartition rationnelle du cuivre. — Théorème de la densité constante. — M. Janet, dans ses « Leçons d'Électrotechnique générale » a rétabli, pour un cas tout spécial des transformateurs à bobines étagées (qui suppose l'égalité des spires moyennes des deux circuits primaire et secondaire), la loi de Kapp, qui conduit à rechercher l'égalité des pertes au primaire et au secondaire; cette loi se confond alors avec la loi de l'égalité des poids et avec celle de la constance de la densité.

Nous allons établir que cette dernière loi seule est générale et s'applique indifféremment aux transformateurs à bobines étagées et aux transformateurs à bobines concentriques. Nos formules feront d'ailleurs connaître la valeur à admettre pour cette densité en fonction des données du problème.

Considérons deux circuits de *longueurs invariables* que nous désignerons par L_1 et L_2. Soient I_1 et I_2 les intensités des courants dans chacun d'eux et, S_1 et S_2 les sections. La perte totale par effet Joule étant supposée constante, proposons-nous de rechercher quelle en est la répartition la plus économique entre les deux circuits.

Pour faciliter l'application du théorème à l'étude des transformateurs nous désignerons par $\frac{\alpha_1 W}{100}$ et $\frac{\alpha_2 W}{100}$ les pertes en watts dans chacun des circuits (W représentant la puissance du transformateur considéré).

Soit d'autre part $\frac{CW}{100}$ la perte totale fixée *a priori*. Nous avons par définition :

$$\frac{\alpha_1 W}{100} = \rho \frac{L_1}{S_1} I_1^2, \qquad \frac{\alpha_2 W}{100} = \rho \frac{L^2}{S_2} I_2^2, \qquad (1) \text{ et } (2)$$

(ρ résistance spécifique), et par hypothèse :

$$\frac{\alpha_1 W}{100} + \frac{\alpha_2 W}{100} = \frac{CW}{100},$$

soit :

$$\alpha_1 + \alpha_2 = C. \qquad (3)$$

De (1) et (2) on tire :

$$S_1 = \frac{100\rho}{W} \cdot \frac{L_1 I_1^2}{\alpha_1}, \qquad S_2 = \frac{100\rho}{W} \cdot \frac{L_2 I_2^2}{\alpha_2}.$$

Le volume total de cuivre est :

$$V = L_1 S_1 + L_2 S_2 = \frac{100\rho}{W} \left(\frac{L_1^2 I_1^2}{\alpha_1} + \frac{L_2^2 I_2^2}{\alpha_2} \right). \qquad (4)$$

En tirant de (3) la valeur $C - \alpha_1$ de α_2 et remplaçant dans (4) il vient :

$$V = \frac{100\rho}{W} \left(\frac{L_1^2 I_1^2}{\alpha_1} + \frac{L_2^2 I_2^2}{C - \alpha_1} \right).$$



La dérivée par rapport à α_1 est :

$$\frac{dV}{d\alpha_1} = -\frac{L_1^2 I_1^2}{\alpha_1^2} + \frac{L_2^2 I_2^2}{(C-\alpha_1)^2}.$$

Le minimum du poids V correspondra à la valeur de α_1 déterminée par l'équation :

$$-\frac{L_1^2 I_1^2}{\alpha_1^2} + \frac{L_2^2 I_2^2}{(C-\alpha_1)^2} = 0,$$

soit :

$$(C-\alpha_1) L_1 I_1 = \alpha_1 L_2 I_2,$$

ce qui donne :

$$\alpha_1 = \frac{CL_1 I_1}{L_1 I_1 + L_2 I_2}, \tag{5}$$

et

$$\alpha_2 = C\left(1 - \frac{L_1 I_1}{L_1 I_1 + L_2 I_2}\right) = \frac{CL_2 I_2}{L_1 I_1 + L_2 I_2}. \tag{6}$$

Reprenons maintenant les équations (1) et (2) en mettant en évidence les densités

$$\delta_1 = \frac{I_1}{S_1} \qquad \delta_2 = \frac{I_2}{S_2}.$$

Il vient :

$$\frac{\alpha_1 W}{100} = \rho L_1 I_1 \delta_1 ; \qquad \frac{\alpha_2 W}{100} = \rho L_2 I_2 \delta_2, \tag{7) et (8}$$

d'où, en divisant membre à membre :

$$\frac{\delta_1}{\delta_2} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \frac{L_2 I_2}{L_1 I_1},$$

et, en remplaçant α_1 et α_2 par les valeurs précédemment déterminées

$$\frac{\delta_1}{\delta_2} = 1. \tag{9}$$

Enfin de (7) et (8) en tenant compte de (9) on tire :

$$\delta_1 = \delta_2 = \frac{CW}{100} \cdot \frac{1}{\rho(L_1 I_1 + L_2 I_2)}.$$

Conclusion. — Au point de vue théorique, ce résultat est donc acquis : Deux circuits de longueurs L_1 et L_2 étant parcourus par des courants d'intensités données I_1 et I_2, le poids de cuivre à employer, pour une perte totale par effet Joule constante, sera minimum lorsque les densités seront les mêmes dans les deux circuits.

Passant à l'application pratique, si nous considérons un transformateur établi avec des densités différentes au primaire et au secondaire nous pourrons toujours, *en conservant les mêmes longueurs aux bobinages,* diminuer le poids du cuivre à employer, pour une perte totale par effet Joule constante, en choisissant une densité uniforme déterminée par la formule

$$\delta = \frac{CW}{100} \cdot \frac{1}{\rho(L_1 I_1 + L_2 I_2)}.$$

Le cuivre supprimé, laissant pour les isolants une place supplémentaire, se trouve, ainsi, *utile*.



ment supprimé, et il sera, généralement, toujours possible de loger plus commodément le nouveau bobinage [1].

Indépendamment de l'économie réalisée, il faut encore remarquer que, par l'application du théorème de la densité constante, les pertes se trouvent réparties d'une façon beaucoup plus rationnelle puisqu'elles sont alors sensiblement proportionnelles à la surface de refroidissement de chacune des bobines. On a en effet :

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{L_1 I_1}{L_2 I_2}.$$

Or, en désignant par n_1 le nombre des spires primaires, par l_1 la longueur de la spire moyenne primaire, par n_2 et l_2 les valeurs correspondantes pour le circuit secondaire, on a :

$$L_1 = n_1 l_1, \quad L_2 = n_2 l_2$$

d'où :

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{n_1 l_1 I_1}{n_2 l_2 I_2}.$$

Et comme $n_1 I_1 = n_2 I_2$ il vient :

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{l_1}{l_2}.$$

Or, les deux bobines ayant même hauteur, les surfaces de refroidissement σ_1 et σ_2 sont sensiblement proportionnelles aux longueurs des spires moyennes l_1 et l_2.

On a donc à très peu près $\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{\sigma_1}{\sigma_2}$.

On démontrerait de même que le rapport des poids est égal au rapport des longueurs des spires moyennes.

Il faut enfin remarquer qu'on retrouverait encore le théorème de la densité constante si l'on se proposait de rechercher la meilleure répartition du cuivre au point de vue de la chute ohmique de tension.

Considérons, en effet, comme précédemment, deux circuits de longueurs invariables L_1 et L_2 parcourus par des courants d'intensités I_1 et I_2.

Désignons par $\beta_1 \frac{E_1}{100} = \rho \frac{L_1}{S_1} I_1$ et $\beta_2 \frac{E}{100} = \rho \frac{L_2}{S_2} I_2$ les pertes ohmiques dans chacun des deux circuits.

La perte $\beta_1 \frac{E_1}{100}$ au primaire donne au secondaire une perte

$$\beta_1 \frac{E_1}{100} \cdot \frac{E_2}{E_1} = \beta_1 \frac{E_2}{100}.$$

---

(1) Par hypothèse, nous avons admis que les spires moyennes avaient des longueurs invariables. En pratique, l'encombrement total de la section des conducteurs étant diminué, on pourra être, de ce fait, conduit à profiter d'une réduction possible dans les longueurs des spires moyennes (tout au moins pour la bobine extérieure dans le cas d'une disposition concentrique). On réaliserait ainsi une nouvelle économie.

En conservant la densité déterminée par la formule

$$\delta = \frac{CW}{100} \cdot \frac{1}{\rho(L_1 I_1 + L_2 I_2)},$$

où L_1 et L_2 représentent les valeurs primitives des longueurs, la perte deviendra inférieure à celle que nous avions admise. Les longueurs étant devenues plus petites, on pourra augmenter la densité en procédant par approximations successives. L'_1 et L'_2 désignant les nouvelles longueurs, on prendra :

$$\delta' = \frac{CW}{100} \cdot \frac{1}{(L'_1 I_1 + L'_2 I_2)}.$$

Pratiquement ce second calcul sera généralement reconnu inutile. Nous avons cependant tenu à l'indiquer pour la généralisation du procédé, et pour justifier la simplification que nous avons introduite en supposant, dans notre théorème, les longueurs invariables.



On aura donc comme perte totale au secondaire

$$\frac{E_2}{100}(\beta_1 + \beta_2).$$

Supposons que cette perte soit constante et désignons-la par $D.\frac{E_2}{100}$, on aura par hypothèse

$$(\beta_1 + \beta_2)\frac{E_2}{100} = D.\frac{E_2}{100},$$

d'où

$$\beta_1 + \beta_2 = D.$$

On voit de suite qu'on a

$$\beta_1 = \alpha_1 \text{ et } \beta_2 = \alpha_2 \; D = C.$$

On a donc les équations

$$\beta_1 + \beta_2 = \alpha_1 + \alpha_2 = D = C$$

$$S_1 = \frac{100\rho L_1 I_1}{E_1 \beta_1} = \frac{100\rho L_1 I_1^2}{W\alpha_1},$$

$$S_2 = \frac{100\rho L_2 I_2}{E_2 \beta_2} = \frac{100\rho L_2 I_2^2}{W\alpha_2}.$$

et l'on retrouve les mêmes formules que dans le cas des pertes par effet Joule (1).

---

(1) Le théorème de la densité constante est général et peut s'établir pour un nombre quelconque de circuits.

Nous l'avons, avec intention, réduit au cas où les circuits sont au nombre de deux pour en faciliter la compréhension en vue de son application à l'étude des transformateurs. Nous en donnons ci-après la démonstration complète.

Nous traiterons le cas le plus général d'une distribution par courants alternatifs. Soient (fig. 1) :

$L_1 . L_2 \ldots L_n \ldots$ les longueurs des tronçons primaires compris entre deux des transformateurs placés sur le circuit primaire ;

$L_{1,1} . L_{1,2} \ldots L_{1n} \ldots \ldots$ / $L_{p1} . L_{p2} \ldots L_{pn} \ldots \ldots$ } Les longueurs des tronçons secondaires compris entre deux des divers appareils d'utilisation (lampes, moteurs), situés sur le réseau secondaire ;

$\alpha_1 . \alpha_2 \ldots \alpha_n \ldots$ les pourcentages des pertes en watts, élémentaires, dans les tronçons primaires :

$\alpha_{1,1} . \alpha_{1,2} \ldots \alpha_{1n} \ldots \ldots$ / $\alpha_{p1} . \alpha_{p2} \ldots \alpha_{pn} \ldots \ldots$ } Les pourcentages des pertes en watts, élémentaires, dans les tronçons secondaires ;

$\beta = \alpha_1 + \alpha_2 + \ldots + \alpha_n + \ldots + \alpha_{1,1} + \alpha_{1,2} + \ldots + \alpha_{pn} + \ldots$ le pour centage de la perte totale consentie sur l'ensemble du réseau.

$I_1 . I_2 \ldots I_n \ldots$ les intensités dans les tronçons primaires, pour le régime de la pleine charge ;

$I_{1,1} . I_{1,2} \ldots I_{1n} \ldots \ldots$ / $I_{p1} . I_{p2} \ldots I_{pn} \ldots \ldots$ } Les intensités dans les tronçons secondaires, pour la pleine charge.

Nous poserons de plus en général :

$$I_{pn} = \frac{I_{p1}}{K_{pn}}.$$

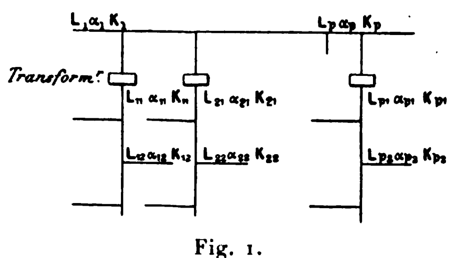


Fig. 1.

La quantité K_{pn} ainsi définie est donc le rapport de l'intensité du courant dans le tronçon d'ordre p_1 à l'intensité dans le tronçon d'ordre p_n.

On a, pour le réseau primaire :

$$\alpha_n = \frac{100\rho L_n}{S_n}\,\frac{I_n^2}{EI_1 \cos\varphi_1} = \frac{100\rho L_n I_1}{S_n E \cos\varphi_1 K_n^2}$$

(ρ résistance spécifique, S_n section, $\cos\varphi_1$ facteur de puissance, E voltage aux bornes du générateur), d'où :

$$S_n = \frac{100\rho I_1}{E\cos\varphi_1} \cdot \frac{L_n}{K_n^2 \alpha_n}.$$

Pour les circuits secondaires :

$$\alpha_{pn} = \frac{100\rho L_{pn}}{S_{pn}} \quad \frac{I_{pn}^2}{EI_1 \cos\varphi_1};$$

Épure générale. — Étant donnée une carcasse magnétique de dimensions déterminées et un poids de cuivre invariable, quels sont les effets de la variation de l'induction magnétique sur les

---

or,

$$I_{pn} = \frac{I_{p1}}{K_{pn}}.$$

D'autre part, en désignant χ_p le rapport de la puissance du p^{eme} transformateur à la puissance totale, par τ_i le rapport de transformation, par ζ le rendement du transformateur correspondant au régime de pleine charge et par e et φ_2 le voltage et le décalage du secondaire, on a :

$$EI_1 \cos\varphi_1 \chi_p \zeta = eI_{p1} \cos\varphi_2,$$

d'où :

$$I_{p1} = \chi_p \zeta \tau_i \frac{\cos\varphi_1}{\cos\varphi_2} I_1 \quad \text{et} \quad I_{pn} = \frac{1}{K_{pn}} \chi_p \zeta \tau_i \frac{\cos\varphi_1}{\cos\varphi_2} I_1.$$

Posons pour simplifier

$$\frac{1}{K_{pn}} \chi_p \zeta \tau_i \frac{\cos\varphi_1}{\cos\varphi_2} = \frac{1}{K'_{pn}},$$

il vient

$$\alpha_{pn} = \frac{100\rho L_{pn} I_1}{S_{pn} E \cos\varphi_1 K'^2_{pn}} \qquad S_{pn} = \frac{100\rho I_1}{E\cos\varphi_1} \cdot \frac{L_{pn}}{\alpha_{pn} K'^2_{pn}}.$$

Le volume total de cuivre est

$$\sum L_n S_n + \sum L_{pn} S_{pn}.$$

Il est donc proportionnel à

$$\sum \frac{L_n^2}{\alpha_n K_n^2} + \sum \frac{L_{pn}^2}{\alpha_{np} K'^2_{pn}}.$$

La différentielle totale est :

$$\sum \frac{L_n^2}{\alpha_n^2 K_n^2} d\alpha_n + \sum \frac{L_{pn}^2}{\alpha_{pn}^2 K'^2_{pn}} d\alpha_{pn}.$$

Le poids sera minimum lorsqu'on aura :

$$\sum \frac{L_n^2}{\alpha_n^2 K_n^2} d\alpha_n + \sum \frac{L_{pn}^2}{\alpha_{pn}^2 K'^2_{pn}} d\alpha_{pn} = 0. \qquad (1)$$

Or, on a :

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \ldots + \alpha_n + \ldots + \alpha_{1,1} + \ldots + \alpha_{pn} + \ldots = \beta. \qquad (2)$$

Différentiant il vient

$$d\alpha_1 + d\alpha_2 + \ldots + d\alpha_n + \ldots + d\alpha_{1,1} + \ldots + d\alpha_{pn} + \ldots = 0. \qquad (3)$$

En identifiant (1) et (3), on obtient en tenant compte de (2)

$$\alpha_n = \frac{L_n}{K_n} \frac{\beta}{\sum \frac{L_n}{K_n} + \sum \frac{L_{pn}}{K'_{pn}}} \qquad \alpha_{pn} = \frac{L_{pn}}{K'_{pn}} \frac{\beta}{\sum \frac{L_n}{K_n} + \sum \frac{L_{pn}}{K'_{pn}}}.$$

La densité δ_n dans le tronçon primaire d'ordre n est donnée par l'équation

$$\alpha_n = \frac{100\rho L_n}{E\cos\varphi_1 K_n} \delta_n;$$

d'où :

$$\delta_n = \frac{E\cos\varphi_1 K_n}{100\rho L_n} \alpha_n = \frac{E\cos\varphi_1 \beta}{100\rho \left\{ \sum \frac{L_n}{K_n} + \sum \frac{L_{pn}}{K'_{pn}} \right\}}.$$

Elle est donc indépendante de n.

conditions générales de fonctionnement (consommation à vide, chute ohmique de tension, rendement, et échauffement des différentes parties), la puissance demandée au transformateur restant constante ?

Comme il est indispensable, pour arriver à tirer des conclusions pratiques, de pouvoir suivre les variations concomitantes des différentes grandeurs envisagées, nous nous trouvons tout naturellement conduits à tracer une épure générale donnant les valeurs de ces grandeurs en fonction de l'induction B, pour le régime de la pleine charge.

Nous avons donc à rechercher, tout d'abord, les moyens d'obtenir les tracés de nos courbes.

Consommation à vide. — Le volume du fer est par hypothèse constant. La perte par hystérésis W_h est, comme on le sait, représentée par l'équation :

$$W^h = Vk_1B^{1,6}$$

où k_1 représente un coefficient dépendant de la qualité du fer.

La perte par courants de Foucault, W_c, par :

$$W_c = Vk_2B^2$$

k_2 étant un coefficient dépendant de l'épaisseur des tôles.

Comme il est sans intérêt de distinguer dans la perte totale W_f la partie due à l'hystérésis de celle due aux courants de Foucault, nous nous contenterons de tracer la courbe

$$W_f = V(k_1B^{1,6} + k_2B^2).$$

En pratique ce tracé se déduira simplement des graphiques usuels donnant la perte par décimètre cube, en fonction de l'induction.

Chute ohmique de tension. — Nous n'envisagerons que la chute « ohmique » de tension, la seule, d'ailleurs, qui puisse se représenter par une équation, et la seule intéressante pour la discussion que nous avons en vue. Pour rendre notre étude indépendante du voltage et faciliter les comparaisons entre divers appareils, nous considèrerons, non pas la chute de tension absolue, mais la chute qui correspondrait à un voltage invariable de 100 volts.

Nous avons respectivement pour le primaire et pour le secondaire des chutes

$$p_1 = R_1I_1, \qquad p_2 = R_2I_2.$$

La perte p_1 donne au secondaire une perte

$$p_1\frac{E_2}{E_1} = R_1I_1\frac{E_2}{E_1}.$$

La perte totale au secondaire sera donc :

$$R_1I_1\frac{E_2}{E_1} + R_2I_2$$

pour un voltage E_2, et, pour 100 volts

$$p = \left(\frac{R_1I_1}{E_1} + \frac{R_2I_2}{E_2}\right)100.$$

On trouve de même pour le tronçon secondaire d'ordre p_n

$$\delta_{pn} = \frac{E\cos\varphi_1 K'_{pn}}{100\rho L_{pn}}\alpha_{pn} = \frac{E\cos\varphi_1\beta}{100\rho\left\{\sum\frac{L_n}{K_n} + \sum\frac{L_{pn}}{K'_{pn}}\right\}}.$$

On a donc finalement $\delta_n = \delta_{pn} =$ constante.

De ce qui précède, on peut donc déduire la loi suivante :

Étant donné un réseau sur lequel on consent à une perte globale déterminée, la répartition des pertes élémentaires la plus économique exige que la densité du courant reste constante.



Dans cette expression I_1, I_2 (intensités efficaces correspondant à la pleine charge) ainsi que E_1 et E_2 restent constants, tandis que, pour un poids de cuivre invariable, R_1 et R_2 (supposé déterminées de telle façon que les densités restent toujours égales) varient évidemment en raison inverse du carré de l'induction. On a donc en résumé :

$$p = \frac{K_1}{B^2},$$

équation très simple qui permet de construire la courbe représentative de p lorsqu'on connaît l'un de ses points [1].

Pertes par effet Joule. — Les pertes par échauffement du cuivre W, s'expriment par l'équation

$$W_j = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2.$$

On voit immédiatement, en tenant compte des remarques précédentes (et en supposant toujours la loi des densités égales respectée), que cette équation peut être mise également sous la forme

$$W_j = \frac{K_2}{B^2}.$$

Le tracé de la courbe ne présente plus alors aucune difficulté.

Pertes totales. — Des courbes donnant W_f et W_j on déduira la courbe :

$$W_t = W_f + W_j$$

donnant les pertes totales par hystérésis, courants de Foucault et effet Joule, à pleine charge.

Rendement. — On en déduira la courbe

$$q = \frac{W}{W + W_t}$$

représentant le rendement pour différentes valeurs de B.

Densité du courant. — Enfin, on pourra encore tracer accessoirement la courbe donnant la densité (commune aux deux circuits) en fonction de B.

Cette courbe est évidemment représentée par une équation de la forme

$$d = \frac{K_3}{B}.$$

Discussion de l'épure générale. — Nous donnons ci-après (voy. fig. 2), à titre d'exemple, l'épure d'un des nouveaux types de transformateurs que nous avons étudiés pour la maison Grammont.

En examinant cette épure, nous voyons immédiatement que les pertes totales sont minima et, par suite, le rendement maximum, pour une valeur de B = 4500 environ et nous constatons que, pour cette valeur de B, les pertes dans le fer et dans le cuivre sont très sensiblement égales.

Ce premier résultat est connu et peut être prévu par un calcul direct [2].

Notre épure nous montre, en outre, et c'est là un point très intéressant, que le rendement reste à peu près le même lorsqu'on porte B de 4500 à 6000. Nous avons pour B = 4500 $q = 96{,}5$ p. 100 et pour B = 6000 $q = 96{,}1$ p. 100.

---

[1] Dans les limites compatibles avec la pratique, la perte p reste d'ailleurs, pour une même valeur de l'induction, très sensiblement inversement proportionnelle au poids de cuivre utilisé. Théoriquement, en raison de l'augmentation de la longueur des spires moyennes, la décroissance de cette perte est cependant quelque peu inférieure à celle que donnerait cette loi.

[2] Voir Janet, Leçons d'Electrotechnique générale.



Mais si nous considérons l'influence de B sur la chute de tension, nous voyons immédiatement qu'au point de vue de l'utilisation industrielle, on a un très grand intérêt à adopter pour B une valeur supérieure à celle qui correspond au maximum absolu du rendement. En conservant les mêmes chiffres que précédemment, nous trouvons, en effet :

pour $B = 4500$, $p = 1{,}7$ pour 100

et, pour $B = 6000$, $p = 0{,}95$ pour 100.

Pour cette dernière valeur de B, les pertes dans le fer sont beaucoup plus fortes que dans le cuivre.

On a, en effet,

$$W_f = 1215 \quad \text{et} \quad W_j = 385.$$

Mais cette différence n'est nullement en désaccord avec les conditions de bon fonctionnement

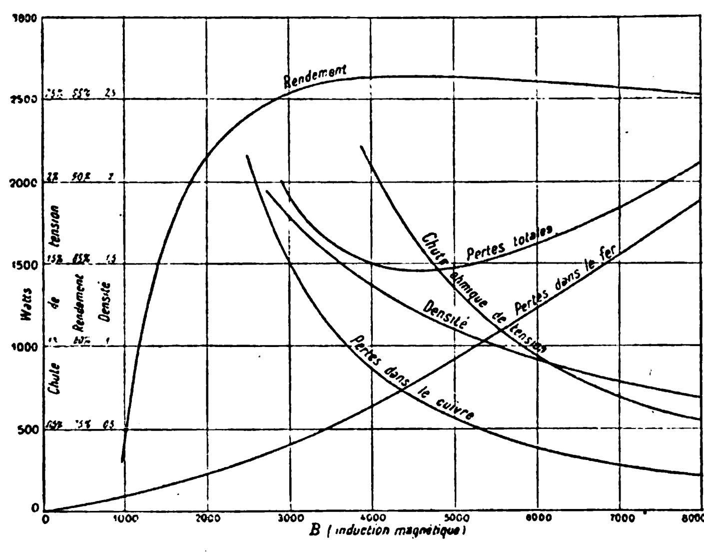


Fig. 2.

et de conservation de l'appareil, car il est tout à fait logique de tolérer, pour le fer, un échauffement plus élevé que pour le cuivre.

Contrairement à ce qu'indiquent la plupart des théories, il peut y avoir intérêt à admettre, en vue d'une bonne utilisation industrielle, une perte dans le fer de beaucoup plus élevée que la perte dans le cuivre.

Conditions de fonctionnement d'un transformateur. — Les remarques que nous venons de faire sur un transformateur déterminé s'appliquent, d'une facon générale, à tous les types industriels. On s'en convaincra facilement en reprenant le tracé de notre épure dans des cas particuliers. Nous avons constaté qu'entre certaines limites les variations du rendement, en fonction de l'induction, sont négligeables par rapport aux variations des pertes dans le cuivre et dans le fer, ou encore par rapport aux variations de la chute ohmique de tension.

Les pertes dans le fer et dans le cuivre suffisent d'ailleurs à définir le rendement ; en pratique, il est plus intéressant de substituer à la considération de la perte dans le cuivre celle de la chute ohmique de tension (qui lui est d'ailleurs proportionnelle).

Nous conserverons donc dorénavant pour l'appréciation d'un appareil déterminé ces deux éléments : consommation à vide, et chute ohmique de tension.

Dimensionnement en vue d'une consommation a vide minima. — Nous supposons que la section, S, des noyaux magnétiques est déterminée. (Nous examinerons, par la suite, l'influence que pourrait avoir la variation de cette section.)



Nous supposons également connues la valeur de l'induction et la densité électrique. Il s'ensuit immédiatement que, pour un type de transformateur déterminé, le nombre de spires primaires et secondaires se trouve fixé, aussi bien que la section du cuivre dans chacun des deux circuits.

Désignons par Y la hauteur et par X l'espacement des deux noyaux voisins. Soit a la place réservée aux isolants dans le sens de la largeur et b dans le sens de la hauteur.

L'espace disponible pour les bobinages est évidemment $(X - a)\ (Y - b)$.

Cette quantité doit, d'après ce que nous venons de dire, rester constante. On a donc une première équation

$$(X - a)\ (Y - b) = C. \qquad (1)$$

Ceci posé, nous considérerons, successivement, le cas des transformateurs monophasés et celui des triphasés :

1° *Cas des transformateurs monophasés à deux colonnes.* — Le volume de fer est, d'après le croquis ci-contre (fig. 3) :

$$V = S(2Y + 2X + 4\sqrt{S}) \qquad (2)$$

L'induction étant supposée constante, il s'agit de rendre V minimum.

De (1) on tire

$$X = a + \frac{C}{Y - b}. \qquad (3)$$

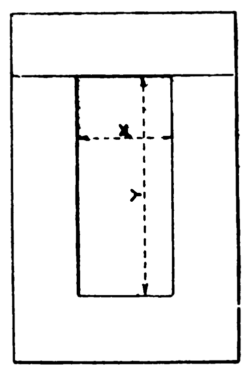


Fig. 3.

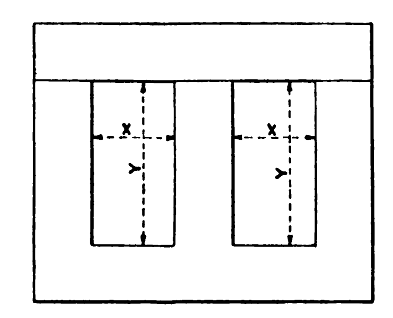


Fig. 4.

En remplaçant dans (2) il vient

$$V = S\left(2a + \frac{2C}{Y - b} + 2Y + 4\sqrt{S}\right).$$

En différentiant par rapport à Y, on obtient

$$S\left(-\frac{2C}{(Y - b)^2} + 2\right).$$

Le minimum de V correspond donc à la valeur de Y donnée par l'équation

$$(Y - b)^2 = C.$$

En transportant dans (1) il vient

$$(X - a)^2 = C \qquad \text{d'où} \qquad \frac{X - a}{Y - b} = 1.$$

2° *Cas des transformateurs triphasés.* — Nous avons dans ce cas (fig. 4) :

$$V = S\,(3Y + 4X + 6\sqrt{S}).$$

En remplaçant X par sa valeur et annulant la dérivée, il vient :

$$3 - 4\frac{C}{(Y-b)^2} = 0 ;$$

d'où :

$$(Y-b)^2 = \frac{4C}{3} \quad \text{et :} \quad (X-a)^2 = \frac{3C}{4}$$

et enfin

$$\frac{X-a}{Y-b} = \frac{3}{4}.$$

Influence de la variation des dimensions. — Supposons maintenant que, tout en conservant les autres conditions imposées par nos précédentes hypothèses (c'est-à-dire la section des noyaux, l'induction et la densité électrique constantes), nous fassions varier les dimensions d'un transformateur ; il est alors intéressant de rechercher de quelle façon varie la consommation à vide et le poids de cuivre utilisé.

Nous tracerons pour cela (voy. fig. 5) :

1° La courbe qui donne Y en fonction de X, ces deux quantités étant supposées liées par la relation précédemment établie $(X-a)(Y-b) = C$.

2° La courbe donnant, en fonction de X, la consommation à vide qui est, par hypothèse, proportionnelle au volume $V = S(3Y + 4X + 6\sqrt{S})$ (*dans le cas d'un triphâse*).

3° La courbe donnant le poids du fer.

4° La courbe donnant, en fonction de X, le poids du cuivre.

$$P = K_1 + \frac{K_2}{Y-b} = K_1 + K_2(X-a)\ (^1).$$

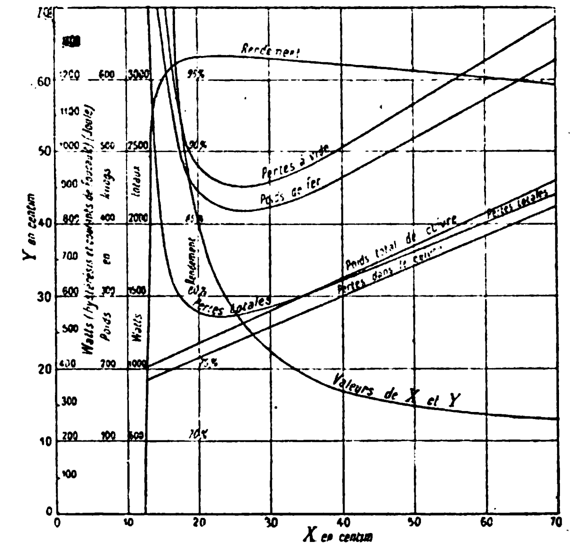


Fig. 5.

5° La courbe donnant, en fonction de X, la perte dans le cuivre. On démontre facilement qu'elle est de la même forme que la précédente : comme les sections restent constantes, les pertes dans le cuivre sont, en effet, proportionnelles aux poids de cuivre employés.

6° La courbe donnant les pertes totales.

7° La courbe donnant le rendement.

---

(1) Cette équation peut s'établir de la façon suivante :

On a, pour la longueur de chacun des circuits, la formule générale

$$L_1 = 2\pi\left(r_1 + \frac{\sigma_1}{2(Y-b)}\right)N_1,$$

$$L_2 = 2\pi\left(r_1 + \frac{\sigma_1}{(Y-b)} + e + \frac{\sigma_2}{2(Y-b)}\right)N_2,$$

r_1 désignant le rayon extérieur du tube supportant la bobine intérieure ; σ_1 et σ_2, les sections des bobinages, par colonne ; et, e, la distance entre les deux bobinages.

Le poids P s'exprime donc par la relation suivante (où S_1 et S_2 désignent les sections des conducteurs)

$$P = L_1S_1 + L_2S_2 = 2\pi\left\{N_1r_1S_1 + N_2(r_1+e)S_2 + \frac{1}{2(Y-b)}\left(\sigma_1N_1S_1 + 2\sigma_1N_2S_2 + \sigma_2N_2S_2\right)\right\},$$

qui est bien de la forme annoncée.

Toutes ces courbes sont très instructives à considérer.

Dans le cas particulier que nous avons envisagé nous pouvons constater :

1° Que la perte par hystérésis et courants de Foucault est minima pour X = 25,4 ; Y = 27,4. Ces valeurs pouvaient êtres trouvées directement par la formule précédemment établie

$$\frac{X-a}{Y-b}=\frac{3}{4}.$$

On voit immédiatement que, pour une valeur de X supérieure à 25,4 la perte dans le fer, ainsi que les poids de cuivre, augmentent d'une façon concomitante ; il n'y a donc pas lieu de rechercher une solution dans cette région.

Pour une valeur de X inférieure à 25,4 on voit, au contraire, que, si la perte dans le fer augmente, le poids de cuivre diminue. En suivant la variation de la perte dans le fer, on remarque encore qu'elle n'augmente pas très rapidement entre X = 25,4 et X = 18 (valeurs auxquelles correspondent Y = 27,4 et Y = 50).

Le rendement entre ces deux limites reste bon. Il est pour X = 25,4 de 96,6 p. 100 et pour X = 18 de 96,4 p. 100. C'est donc dans cette région qu'il conviendra de rechercher une solution compatible à la fois avec les exigences du fonctionnement et les commodités de la construction. Il convient, à cet égard, de faire remarquer qu'un noyau trop court peut présenter de sérieuses difficultés pour le fractionnement du bobinage dans le cas des hautes tensions et que, d'autre part, on se trouve alors dans de mauvaises conditions pour le refroidissement ; car à poids de cuivre constant, en diminuant la hauteur, on diminue la surface de refroidissement tout en augmentant la perte par effet Joule. [1]

De la meilleure utilisation de la matière. — Nous supposons, ainsi que nous l'avons dit, que, quelles que soient les dimensions de la carcasse (la section des noyaux, seule, étant donnée), nous nous imposions une perte dans le fer constante et que nous recherchions quelles sont, pour un poids de cuivre donné, les chutes ohmiques de tension correspondantes.

Il n'est pas évident, *a priori*, que dans ces conditions X et Y doivent obéir à la loi, précédemment fixée : $(X - a)(Y - b) = C$. Nous la conserverons cependant, à titre d'hypothèse, sous l'obligation d'avoir à justifier, par la suite, qu'elle est compatible, entre certaines limites, avec les résultats auxquels nous serons conduits.

Soit V, le volume d'une carcasse magnétique et W_f, la perte dans le fer consentie. La valeur de B à admettre sera déterminée par l'équation

$$W_f = V(k_1 B^{1,6} + k_2 B^2).$$

La figure 6 donne, en fonction de Y, les valeurs de B déduites de cette équation, pour le cas particulier envisagé précédemment. On remarque que B est maximum pour Y = 27,4, valeur que nous avons déjà trouvée pour le minimum de la perte dans le fer à induction constante.

---

(1) Dans le tracé de l'épure générale, nos hypothèses laissent invariables toutes les données mécaniques et matérielles, poids du cuivre, poids du fer, dimensions de la carcasse. Dans l'examen de l'influence des variations des dimensions, nous avons, au contraire, supposé constantes les données magnétiques et électriques, l'induction et la densité.

La section des noyaux (supposée constante) est le seul paramètre dont la variation nous restera à analyser ; nous verrons par la suite, qu'elle est, dans de larges limites, sans influence, quant à la question que nous nous posons.

En combinant ces deux analyses, on pourrait arriver à la solution du problème suivant :

La section des noyaux étant connue, et le poids de cuivre invariable, comment doit-on dimensionner le transformateur pour arriver à la meilleure utilisation du cuivre dans les conditions d'une application industrielle ? ou, plus explicitement, quelles sont les dimensions qui, pour une perte donnée dans le fer, conduiront à la chute ohmique de tension minima.

Au point de vue économique, il n'y aurait plus qu'à tenir compte, dans le problème, de la variation de poids du fer.

Mais le problème, ainsi posé, revêt un caractère de généralité qui nous a paru mériter l'étude d'une solution directe ; c'est pourquoi nous n'insisterons pas sur les réductions qu'il conviendrait de déduire de l'épure générale pour arriver au résultat cherché par voie de combinaison avec le graphique relatif à la variation des dimensions.

Le nombre de volts engendrés par spire est proportionnel au flux BS (S désignant la section du noyau).

La longueur de la spire moyenne s'exprime par la formule $\varphi\sqrt{S} + \varphi_1 + a$. (Le coefficient φ dépend de la forme de la section; φ_1 représente les isolants et a l'épaisseur du bobinage.)

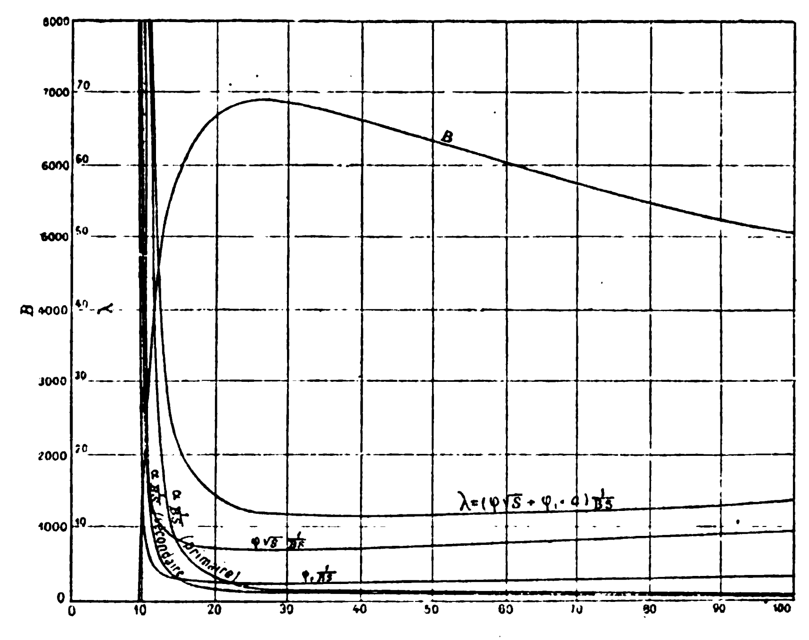


Fig. 6.

La longueur du fil λ nécessaire pour avoir un volt sera donc proportionnelle à

$$\frac{\varphi\sqrt{S} + \varphi_1 + a}{BS}$$

Il est évident que l'utilisation du cuivre sera d'autant meilleure que cette longueur λ sera plus petite [1].

Influence de la variation de la section des noyaux, — Il nous reste à déterminer qu'elle influence peut avoir, sur l'utilisation du cuivre, la variation de la section des noyaux.

Nous pouvons pour cela employer deux procédés :

1° Par déduction de l'épure générale.

Nous nous placerons dans un cas particulier et nous supposerons, par exemple, que l'on choi-

---

[1] Dans l'exemple particulier que nous présentons on trouve que ce minimum est atteint à très peu près de $Y = 30$ à $Y = 50$, c'est-à-dire précisément dans la région que nous avons été conduits précédemment à considérer comme étant la seule intéressante à l'exclusion de toute autre.

La longueur totale de chacun des circuits restera donc constante dans toute cette région et, pour un poids de cuivre invariable, les sections devront aussi rester les mêmes. Le nombre de spires ne varie d'ailleurs entre les limites envisagées que d'une quantité très faible (inférieure à 9 p. 100) compatible en pratique avec l'hypotèse que nous avons faite sur la constance du produit $(X - a)(Y - b)$ qui se trouve ainsi légitimée.

La meilleure utilisation de la matière (cuivre et fer) correspondrait donc théoriquement à $Y = 30$.

Comme conclusion pratique, nous voyons que pour choisir une valeur de Y entre les limites auxquelles nous conduit cette étude, les seules grandeurs que nous ayons à prendre en considération sont : le prix du fer, les facilités de construction et les surfaces de refroidissement; le problème étant ramené à ce degré de simplicité, il devient très facile d'établir dans chaque cas particulier un balancement rationnel entre des quantités, qui toutes croissent avec Y.

sisse pour chaque carcasse les dimensions correspondant à la perte dans le fer minima. On pourrait évidemment faire toute autre hypothèse, mais nous verrons par la suite que le résultat reste le même.

On aura donc, pour chaque carcasse, ainsi que nous l'avons établi :

$$\frac{X-a}{Y-b}=\frac{3}{4} \qquad (1)$$

(en supposant qu'il s'agisse de transformateurs triphasés).

Supposons, pour un instant, l'induction constante ainsi que la densité.

Nous serons conduits à poser la seconde équation

$$(X-a)(Y-b)=\frac{C}{S} \qquad (2)$$

(S désignant la section variable des noyaux magnétiques).

De (1) et (2) on tire :

$$X=k_1+\frac{k_2}{\sqrt{S}}, \qquad Y=k_3+\frac{k_4}{\sqrt{S}}.$$

On donnera à S différentes valeurs, puis on tracera les épures générales correspondant à chaque cas envisagé. On ramènera par les réductions indiquées le poids du cuivre au taux fixé et on recherchera, pour une perte dans le fer invariable, quelles sont les valeurs correspondantes de la chute ohmique de tension.

L'application de ce procédé au transformateur duquel se rapportent les planches I, II et III nous a donné les résultats suivants :

Sections en cm²	150	200	250
Chute ohmique de tension, en pour 100.	0,93	0,92	0,92

Nous pouvons en conclure que, pour le cas envisagé, la grandeur de la section est sans influence sur l'utilisation du cuivre.

2° En conservant les mêmes hypothèses que précédemment nous pouvons arriver plus directement au discernement de la meilleure utilisation du cuivre.

Fig. 7.

Considérons (fig. 7) la courbe représentative de W_f pour une valeur constante de B, en fonction de S. Nous pouvons en déduire, en fonction de la même variable, les valeurs qu'ils conviendra de donner à B pour conserver à W_f une valeur constante. Nous tracerons ensuite la courbe représentative du produit BS. Ses ordonnées seront proportionnelles au voltage engendré par spire.

D'autre part, la longueur de la spire moyenne peut être représentée par

$$\varphi\sqrt{S}+\varphi_1+a$$

φ étant un coefficient qui dépend de la forme de la section des noyaux, φ_1 correspondant aux isolants et a représentant l'épaisseur des bobinages. Cette dernière quantité devra être déterminée dans chaque cas particulier, pour un poids de cuivre constant.

Le quotient $\frac{\varphi\sqrt{S}+\varphi_1+a}{BS}$ nous donnera la longueur de fil λ nécessaire pour obtenir un volt et son minimum correspondra, comme nous l'avons déjà vu, à la meilleure utilisation du cuivre.



On constate sur l'épure que lorsque S passe de 150 à 250, soit une variation de 65 p. 100, λ varie à peine de 4 p. 100 [1].

---

[1] On pourrait, comme nous l'avons dit, faire toute autre hypothèse sur le dimensionnement des carcasses. Nous examinerons encore, en particulier, un autre cas, simple à traiter, qui suppose Y constant.

Le volume du fer sera, dans ce cas, à très peu près proportionnel à S.

Considérons deux carcasses et désignons par les indices 1 et 2 les valeurs qui s'y rapportent.

Supposons $S_2 > S_1$. Les volumes V_1 et V_2 seront donnés par l'équation

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{S_1}{S_2} \cdot a,$$

où a représente une quantité plus grande que 1.

L'égalité des pertes par hystérésis nous impose la condition

$$B_1^{1,6} V_1 = B_2^{1,6} V_2.$$

(En négligeant le terme en B_2 qui correspond aux pertes par courants de Foucault, nous conservons une approximation bien suffisante pour le but que nous poursuivons.)

On a donc :

$$\frac{B_1^{1,6}}{B_2^{1,6}} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{S_2}{S_1 . a}. \tag{1}$$

Considérons, d'autre part, la spire qui entourerait directement le noyau. En l'assimilant à la spire moyenne nous négligeons les isolants et l'épaisseur du cuivre ; notre approximation sera donc d'autant plus grande que le transformateur sera plus puissant. La longueur de fil λ à employer par volt sera proportionnelle au quotient de $\sqrt{S}$ par le flux BS, soit inversement proportionnelle à $B\sqrt{S}$. On aura donc :

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{B_2\sqrt{S_2}}{B_1\sqrt{S_1}}. \tag{2}$$

Faisons par exemple, $S_2 = 2S_1$. Les équations (1) et (2) nous donnent

$$\frac{B_1^{1,6}}{B_2^{1,6}} = \frac{2}{a}, \qquad \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{B_2}{B_1}\sqrt{2}. \tag{3 et 4}$$

Cherchons quelle valeur il faudrait donner à a pour arriver à l'égalité :

$$\lambda_1 = \lambda_2.$$

De (4) on tire :

$$\frac{B_1}{B_2} = \sqrt{2}.$$

Transportant dans (3) il vient :

$$(\sqrt{2})^{1,6} = \frac{2}{a}$$

et résolvant

$$\frac{1,6 \log 2}{2} = \log 2 - \log a$$

d'où

$$\log a = 0,2 \log 2 = 0,060\,206$$

et enfin

$$a = 1,1487.$$

En pratique, on trouve pour a des valeurs qui se rapprochent beaucoup de ce chiffre. Pour le transformateur pris comme exemple, au cours de cette étude, on a $a = 1,1145$.

On peut donc considérer qu'en doublant la section des noyaux (la hauteur restant constante), on est conduit pour conserver la même perte par hystérésis, à diminuer B dans le rapport de 1 à $\sqrt{2}$. Le flux devient $\sqrt{2}$ deux fois plus grand mais la spire entourant le noyau étant elle-même $\sqrt{2}$ fois plus grande, les deux circuits conservent les mêmes longueurs.

Au point de vue pratique, nous pouvons donc conclure que la variation de la section est sans grande influence sur l'utilisation du cuivre, et nous sommes à nouveau ramenés à prendre en considération, comme précédemment, le prix du fer, les facilités de construction et les surfaces de refroidissement, toutes quantités qui augmentent avec S.

Forme la plus avantageuse a donner a la section. — Transformateurs Grammont, système J.-L. Routin (fig. 8 et 9). — La section des noyaux doit être simple, et conduire à une construction facile. Elle doit permettre de fixer d'une manière invariable, par rapport au noyau, la position de la bobine inférieure, tout en ménageant de larges cheminées pour la ventilation.

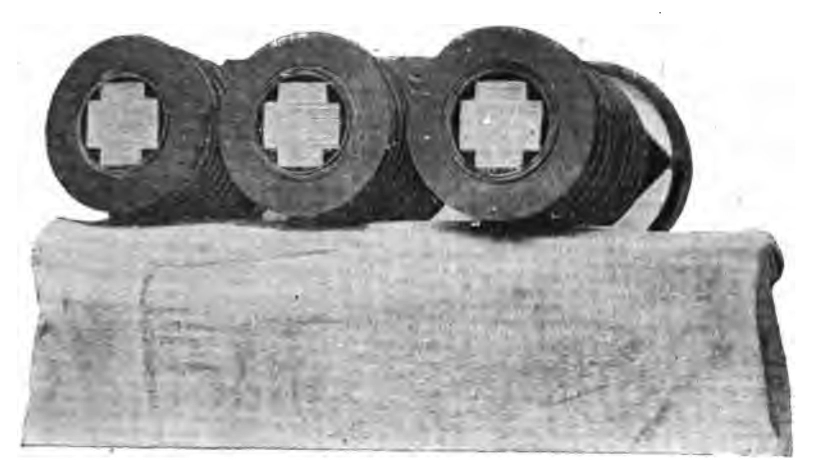


Fig. 8.

Elle doit enfin, pour une bonne utilisation du cuivre, présenter un périmètre de bobinage aussi réduit que possible.

Nous avons préféré les bobines circulaires, en raison de la commodité du bobinage, et aussi pour la résistance plus grande que cette forme donne aux tubes de support.

Nous devons écarter immédiatement la solution théorique qui conduit à la forme circulaire pour



Fig. 9.

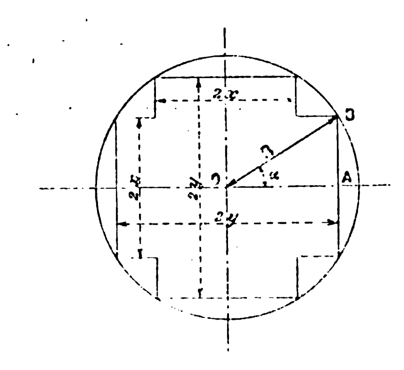


Fig. 10.

les noyaux magnétiques. Elle présente, en effet, des difficultés de construction presque insurmontables.

Nous avons également écarté, pour la même raison, les solutions qui exigent un grand nombre de bandes de tôles de largeurs différentes, et nous avons choisi la croix régulière inscrite dans un cercle, en déterminant les dimensions des bras de telle façon que sa section soit maxima.

La section ainsi déterminée jouit de propriétés spéciales que nous allons exposer.

Détermination des dimensions de la croix régulière rationnelle. — Désignons par $2x$ la largeur et $2y$ la hauteur des bras, et soit R le rayon du cercle circonscrit (fig. 10).

La section U de la croix peut s'exprimer par la formule :

$$U = 4(2xy - x^2).$$

Mais on a, en désignant par α, l'angle A O B :

$$x = R \sin \alpha \qquad y = R \cos \alpha$$

d'où :

$$U = 4R^2 (2 \sin \alpha \cos \alpha - \sin^2\alpha)$$
$$U = 4R^2 (\sin 2\alpha - \sin^2 \alpha).$$

Dérivons par rapport à α. Il vient :

$$\frac{dU}{d\alpha} = 4R^2 (2 \cos 2\alpha - 2 \sin \alpha \cos \alpha) = 4R^2 (2 \cos 2\alpha - \sin 2\alpha).$$

En annulant la dérivée, on est conduit à la condition tang $2\alpha = 2$, qui donne

$$\alpha = 31^\circ 43'$$
$$\sin \alpha = 0{,}5257, \qquad \cos \alpha = 0{,}850.$$

Les dimensions x et y devront donc être choisies de façon que l'on ait :

$$x = R \,.\, 0{,}5257, \qquad y = R \,.\, 0{,}850.$$

La surface U devient alors :

$$U = 4 (2R^2 \,.\, 0{,}85 \,.\, 0{,}53 - R^2 \,.\, 0{,}53^2) = 2{,}472 R^2.$$

Le coefficient d'utilisation de la surface, défini par le rapport de la section du noyau à la surface de la spire qui l'entoure, est donc :

$$\frac{2{,}472 R^2}{\pi R^2} = 0{,}787 \text{ (1)}.$$

(1) *Remarque I.* — Le coefficient d'utilisation de la surface est plus élevé, dans les mêmes conditions de ventilation pour la section en croix rationnelle que pour la section circulaire.

Un noyau circulaire, pour le même coefficient, devrait avoir un rayon r donné par l'équation :

$$\pi r^2 = 0{,}8 \, R^2,$$

soit

$$r = 0{,}886 \, R.$$

Il ne resterait donc, pour la ventilation, qu'une lame d'air égale à environ $\frac{1}{10}$ du rayon. On reconnaîtrait, en pratique, notamment pour les transformateurs de faible puissance, que dans ces conditions la ventilation serait mal assurée. La supériorité de la disposition en croix tient, à cet égard, à ce que la ventilation se produit par 4 canaux au lieu de se produire par une lame annulaire étroite.

Remarque II. — Le coefficient d'utilisation de la surface est le même pour une section en croix régulière rationnelle avec ventilation et pour une section carrée sans ventilation.

Considérons en effet le développement de la circonférence circonscrite à la croix régulière rationnelle

$$l_1 = 2\pi R$$

et le développement du carré ayant la même surface. Le côté A de ce carré est donné par l'équation :

$$A^2 = 2{,}472 R^2$$

d'où :

$$A = R\sqrt{2{,}472}$$

et :

$$l_2 = 4A = R \,.\, 4 \,.\, \sqrt{2{,}472}.$$

En comparant l_1 à l_2 on trouve :

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{2\pi}{4\sqrt{2{,}472}} = 1.$$

Remarque III. — La surface de refroidissement est plus grande pour la croix régulière rationnelle que pour les sections circulaires ou carrées.



Détails de construction de la carcasse. — Ainsi que le représente la figure schématique 11, la carcasse magnétique se compose, en principe, de deux parties distinctes, l'une *a* en forme de **E**, l'autre *b* en forme de **I**.

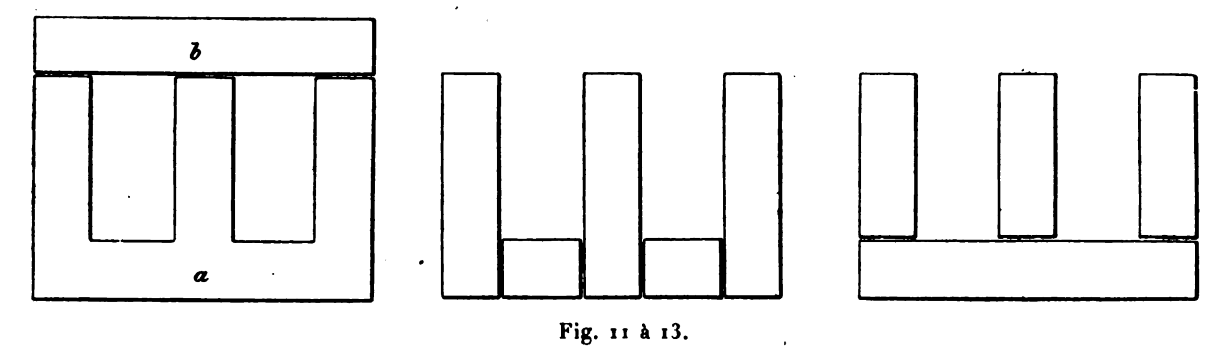


Fig. 11 à 13.

Le montage de *a* est indiqué par les figures 12 et 13 qui représentent respectivement deux couches successives.

Les avantages de cette disposition consistent en ce qu'elle ne comporte que trois joints à dresser. Il en résulte une économie dans la main-d'œuvre, une amélioratisn du courant de magnétisation, un montage plus commode et plus solide et un fonctionnement plus silencieux.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

ACCUMULATEURS

Sur les batteries à haute tension, par **U. Schoop.** *Zeitschrift für Elektrotechnik*, t. XVIII, p. 478. 30 septembre 1900.

Des batteries à haut voltage sont assez couramment employées, notamment dans les fabriques de lampes, les laboratoires électrotechniques et les fabriques de câbles.

Une des plus grosses difficultés dans la constitution de celles-ci est de maintenir un bon isolement et d'empêcher les projections d'acide. La fabrique d'accumulateurs « Kölner Accumulatoren-Werken », G. Hagen, à Kalk près Cologne, emploie des petits vases en verre (fig. 1) munis de cols droits et ayant environ 45 mm de diamètre et 75 mm de hauteur, dans lesquels sont introduites les deux électrodes, composées

On a, en effet, en reprenant les notations précédentes :

Pour la section en croix régulière rationnelle, une surface de refroidissement S_1 proportionnelle à $8y$, soit à

$$8.0,85\ R = 6,80\ R.$$

Pour la section circulaire une surface de refroidissement S_2 proportionnelle à

$$0,886\,R\,.\,2\pi = 5,56\ R.$$

Pour la section carrée une surface de refroidissement S_3 proportionnelle à $4A$, soit :

$$4R\sqrt{2,472} = 6,28\ R,$$

d'où

$$\frac{S_1}{S_2} = 1,23$$

$$\frac{S_1}{S_3} = 1,09.$$

d'une carcasse empâtée de matière active puis formée et terminées à la partie inférieure par une petite tige, placée dans un tube en verre, sur laquelle elles reposent, Le flacon est fermé par un bouchon d'ébonite traversé seulement par les deux conducteurs et par un tube de verre qui maintient l'écartement entre les électrodes et

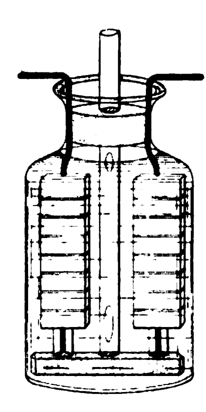


Fig. 1.

qui possède en outre deux fentes longitudinales pour le dégagement gazeux et qui sert également au remplissage.

Un tel élément possède une capacité de 0,75 ampère-heure au régime de décharge d'une heure avec une chute de tension permise de 10 p. 100. 25 éléments semblables sont disposés dans une caisse en bois et on coule de la paraffine dans les intervalles. Les connexions des éléments entre eux sont faites par soudure.

Une batterie de 2 200 éléments de ce type est employée à la fabrique de câbles Felten et Guilleaume à Mulheim-sur-Rhin. Pour la charge qui a lieu une fois par semaine, un commutateur met en dérivation toutes les caisses de 25 éléments et la charge s'effectue à l'aide d'une machine de 70 volts. Comme soins à donner à cette batterie, une addition d'eau distillée une fois tous les deux mois suffit. L. J.

DIÉLECTRIQUES

Perte d'énergie dans les diélectriques, par **G. Benischke**. Extrait de *Zeitsch. f. Elektrotechnik*, 1895, communiqué par l'auteur à propos de la note de F. Beaulard, *Écl. Élec.*, t. XXIII, p. 234, mai 1900.

En 1895, G. Benischke concluait de ses expériences effectuées sur un condensateur à lame de paraffine que la perte d'énergie observée dans les charges et décharges répétées ne correspond pas à une hystérésis du diélectrique, mais provient de trois causes : charges résiduelles, chaleur de Joule, déformations mécaniques.

En effet avec un condensateur construit de manière à éliminer ces causes de perte, on n'observe aucun échauffement à la suite de charges et décharges successives, prolongées pendant 10 minutes, sous une différence de potentiel de 1 700 volts.

La lame de paraffine renferme (fig. 1) deux

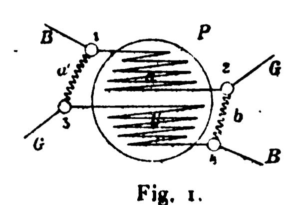


Fig. 1.

fils de platine (diamètre 0,025 mm ; longueur 239 cm) qui forment deux des branches d'un réseau de Wheatstone. Les quatre branches du réseau sont identiques, mais les deux autres se trouvent en dehors du bloc de paraffine, Le galvanomètre du pont reste au zéro tant que la température est uniforme. Si la résistance des branches a et b' augmente par suite d'une élévation de température d'une quantité x, il faut, pour rétablir l'équilibre ajouter à a' ou à b une résistance r, telle que :

$$x = a + \sqrt{a^2 + ar}$$

a étant la résistance de chaque branche à la température initiale. Cette méthode est assez sensible pour déceler une variation de température de 0°,001.

Comme nous l'avons dit, on n'observe avec le condensateur en paraffine aucune élévation de température : il n'y a donc pas d'hystérésis au sens propre du mot.

Au contraire dans les condensateurs en papier paraffiné, on observe nettement l'élévation de température. Si les armatures sont formées de lames de laiton et que par suite le contact de la surface inégale du papier paraffiné n'ait lieu qu'en quelques points, on observe une élévation de température de 1°,09 : avec un condensateur de capacité fort peu différente, mais dont les armatures en clinquant sont fortement pressées sur le papier paraffiné et sont par conséquent

en contact avec lui sur toute la surface, on obtient 0°,30. Il est donc vraisemblable que l'élévation de température est due pour la plus grande part à la chaleur de Joule. D'autre part, Steinmetz a trouvé que l'élévation de température est proportionnelle au carré de la différence de potentiel et Kleiner, qu'elle est inversement proportionnelle à l'épaisseur du diélectrique; c'est ce qu'exige la loi de Joule.

En outre, il se produit dans le diélectrique des phénomènes mécaniques qui correspondent aussi forcément à une perte d'énergie. Les feuillets de papier vibrent pendant les charges et les décharges, comme l'attestent les bourdonnements plus ou moins intenses que font entendre les condensateurs usuels.

La perte d'énergie paraît être proportionnelle au carré de l'induction électrique : à vrai dire, il n'est pas aisé de calculer *a priori* cette perte, par suite de l'incertitude qui règne sur les propriétés du papier. S'il s'agissait réellement d'un phénomène analogue à l'hystérésis magnétique on devrait s'attendre à trouver plutôt comme dans le cas du magnétisme un exposant voisin de 1,6.

Il paraît donc beaucoup plus probable que la perte d'énergie en question doit être rapportée aux trois causes signalées ci-dessus. Ces trois phénomènes sont d'autant plus marqués que le diélectrique est plus imparfait : quant à leur importance relative, elle varie beaucoup avec la nature du diélectrique. M. L.

DIVERS

Étude sur le flux de l'énergie mécanique, par Vito Volterra.

Dans une intéressante communication faite par le professeur V. Volterra à la réunion de la Société physique italienne qui eut lieu à Côme lors de l'Exposition (21 septembre 1899), une question qui semblait abandonnée vient d'être remise à l'ordre du jour, je veux parler de la localisation et du transport de l'énergie mécanique.

L'énergie s'acquiert, elle se distribue; il est donc naturel de penser que, comme la matière, elle doit être localisée. De ce principe de localisation, se déduit évidemment l'étude de la manière dont l'énergie peut changer de place, ce qui conduit à la considération du *flux d'énergie*. Comme pour le transport de la matière, on admettra que le transport de l'énergie est continu, qu'elle ne peut disparaître d'une région pour apparaître en une autre sans traverser les régions intermédiaires.

Les principales contributions qui aient été faites à cette question sont dues à Poynting et à Wien. Poynting [1] a étudié le cas du mouvement de l'énergie dans le champ électromagnétique; Wien [2] a traité le sujet d'une manière systématique, étudiant la localisation et le mouvement non seulement dans le cas examiné par Poynting, mais aussi dans celui de l'élasticité, de l'hydrodynamique et de la chaleur.

La force newtonienne et les systèmes discontinus étaient laissés de côté, c'est ce sujet qui vient d'être repris par M. V. Volterra.

Trouver le flux d'énergie correspondant à un phénomène naturel n'est pas une question déterminée; le problème, s'il est susceptible d'une solution, en présente une infinité, mais elles peuvent se déduire immédiatement de l'une d'elles, comme pour toute explication mécanique d'un phénomène physique.

L'énergie mécanique que nous devons suivre dans ses différentes transformations se compose de l'énergie cinétique, de l'énergie élastique et de l'énergie potentielle des forces newtoniennes qui agissent sur les différentes parties du système. Seule la localisation de l'énergie potentielle newtonienne présente des difficultés. Il faut, pour traiter le cas général, supposer l'énergie potentielle distribuée dans tout l'espace, même dans les parties où ne se trouve pas la matière agissante.

L'*énergie potentielle newtonienne* s'évalue en faisant la somme de toutes les masses élémentaires multipliées par la moitié du potentiel auquel chacune se trouve, et en donnant à la somme le signe négatif. Parcourons un tube de force (fig. 1) dans le sens de celle-ci : le produit de la section par l'intensité de la force par unité de masse reste constant tant que le tube reste à l'extérieur de toutes les masses ; sinon le produit décroît proportionnellement à la masse traversée, de sorte que, si l'on prend deux sections infiniment voisines ω_1 et ω_2 où la force a pour

[1] *Philosophical Transactions*, 1884.

[2] *Wied. Ann.*



valeur F_1 et F_2, on a :

$$F_2\omega_2 - F_1\omega_1 = -4\pi m$$

m étant la masse contenue entre ω_1 et ω_2.

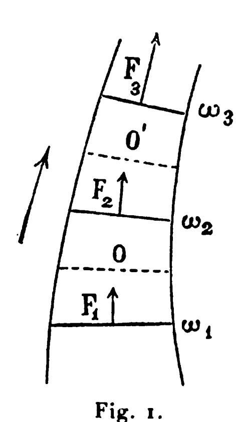


Fig. 1.

Appelons U le potentiel en un point moyen O de cette région ; il faut faire la somme des termes

$$\frac{F_2\omega_2 - F_1\omega_1}{4\pi} \frac{U}{2}$$

étendue à tous les éléments de l'espace.

Considérons la section ω_3 à même distance de ω_2 que celle-ci est de ω_1, soit F_3 la force en ω_3 et U' le potentiel au point médian O'; le terme à considérer sera

$$\frac{F_3\omega_3 - F_2\omega_2}{4\pi} \frac{U'}{2}$$

d'où en réunissant les termes communs à ω_2 :

$$\frac{F_2\omega_2}{8\pi}(U - U').$$

Désignons par δ la distance infiniment petite OO'

$$\frac{U' - U}{\delta} = F$$

et l'expression devient

$$-\frac{F_2^2}{8\pi}\omega_2\delta.$$

Menons par O et O' les sections normales, et soit S le volume intermédiaire, l'expression précédente peut s'écrire

$$-\frac{F_2^2 S}{8\pi}; \tag{1}$$

la somme des termes analogues mesure l'énergie potentielle newtonienne.

Puisque l'on étudie le flux d'énergie, on doit considérer au lieu de la valeur absolue de la quantité d'énergie la variation de cette quantité. D'ailleurs l'énergie potentielle est déterminée à une constante près, on peut donc toujours supposer ajoutée à tout élément une quantité constante d'énergie, sans que le flux en soit altéré. Par une addition convenable, la quantité négative considérée ci-dessus, peut donc devenir positive.

Pour obtenir la loi du flux d'énergie, il est nécessaire de considérer un autre vecteur que la force unitaire. Soit F (fig. 2) la force agissant

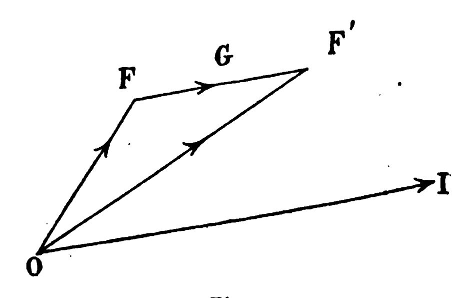


Fig. 2.

au point O à un moment donné, au bout d'un temps très court t, elle devient F'; le vecteur FF' = G mesure son changement en grandeur et direction, c'est l'accroissement de la force pendant le temps t ; le vecteur

$$I = \frac{G}{t} \tag{2}$$

représente l'*accroissement de la force pendant l'unité de temps*. La considération de ce nouveau vecteur conduit à celle de *ligne* et de *tube d'accroissement de force*.

Soit ω une section d'un tube d'accroissement de force infiniment étroit, tant que le tube reste extérieur aux masses, le produit $I\omega$ est constant ; si le flux se propage dans une région de l'espace remplie de matière, on a pour deux sections ω' et ω'', comprenant une quantité μ de matière :

$$I_2\omega'' - I_1\omega' = -4\pi\mu. \tag{3}$$

L'accroissement pendant le temps t de la quantité d'énergie potentielle contenue dans un élé-

ment S de l'espace est en négligeant G^2 (fig. 3).

$$-\frac{(F'^2 - F^2)S}{8\pi} = -\frac{1}{4\pi} SFG\cos(FG) = -\frac{1}{4\pi} f GS.$$

L'accroissement par unité de temps est donc

$$e_p = -\frac{1}{4\pi} f IS.$$

Si S est une portion de tube comprise entre

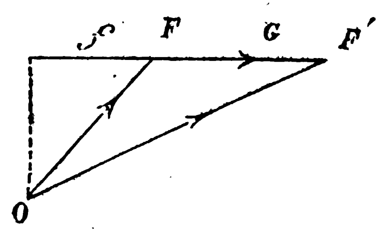


Fig. 3.

deux sections orthogonales ω' et ω'' (fig. 4), à distance δ très petite et dont les potentiels sont U_1 et U_2, on a

$$e_p = -\frac{1}{4\pi} f\delta I\omega = \frac{1}{4\pi}(U_1 - U_2) I\omega. \qquad (4)$$

Dans une région extérieure aux masses agis-

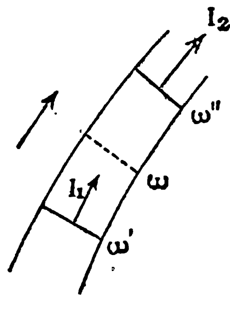


Fig. 4.

santes $I\omega$ étant constant, l'expression précédente peut s'écrire

$$e_p = \frac{1}{4\pi} U_1 I_1 \omega' - \frac{1}{4\pi} U_2 I_2 \omega''. \qquad (5)$$

Par conséquent on peut supposer que dans l'élément S une quantité d'énergie $\frac{1}{4\pi} U_1 I_1 \omega'$ entre en ω', tandis que $\frac{1}{4\pi} U_2 I_2 \omega'$ sort en ω'', ce qui revient à dire que l'énergie s'écoule le long du tube avec une intensité $\frac{IU}{4\pi}$ par unité de surface.

Dans la région considérée, extérieure à toute masse, il n'existe que l'énergie newtonienne, de sorte que l'on connaît la loi du flux d'énergie dans cette région.

Nous verrons, par la suite, que pour une portion de l'espace où se trouve la matière, le flux total d'énergie est la résultante de trois flux, dont l'un est celui précédemment trouvé et que nous appellerons *premier flux*, les deux autres (*deuxième* et *troisième flux*) ont lieu le long des lignes de mouvement de la matière et le long d'autres lignes dépendant des tensions élastiques.

Considérons une région où se trouve la matière, la relation (4), toujours valable, peut s'écrire évidemment

$$e_p = \frac{1}{4\pi} U_1 I_1 \omega' - \frac{1}{4\pi} U_2 I_2 \omega'' - \frac{1}{4\pi} U_1 (I_1\omega' - I\omega) - \frac{1}{4\pi} U_2 (I\omega - I_2\omega'').$$

M. Volterra substitue dans les deux derniers termes à U_1 et à U_2 la valeur moyenne U du potentiel dans l'espace compris entre ω' et ω'', la variation qui en résulte est négligeable puisque ces quantités sont multipliées par des infiniment petits, d'où :

$$e_p = \frac{1}{4\pi} U_1 I_1 \omega' - \frac{1}{4\pi} U_2 I_2 \omega'' - \frac{U}{4\pi}(I_1\omega' - I_2\omega'').$$

Ce qui d'après (3) peut s'écrire

$$\frac{1}{4\pi} U_1 I_1 \omega' - \frac{1}{4\pi} U_2 I_2 \omega'' = e_p + U\mu.$$

Ainsi, le *premier flux d'énergie* lorsqu'il traverse une région où se trouve la matière ne détermine pas seulement la variation de l'énergie potentielle en chaque élément, mais laisse encore un résidu mesuré par le produit du potentiel en chaque élément par l'accroissement de masse par unité de temps.

M. Volterra considère ensuite les *lignes de mouvement* de la matière, c'est-à-dire les lignes tangentes en chaque pont à la vitesse de la particule qui passe par ce point. Dans un élément S de *tube de mouvement* compris entre deux sections orthogonales σ_1 et σ_2 (fig. 5), l'accroissement E_c qu'éprouve en un temps très petit l'énergie cinétique de la matière contenue est égal à la force vive de la matière qui pénètre par σ_1 diminuée de celle qui sort par σ_2, plus le tra-

vail L_n exécuté par les forces qui agissent sur les éléments de matière contenus en S.

Désignons par ρ et V la densité et la vitesse

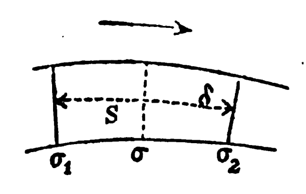


Fig. 5.

de la matière ; la différence des deux forces vives est

$$\frac{1}{2}(\rho_1 V_1 t \sigma_1) V_1^2 - \frac{1}{2}(\rho_2 V_2 t \sigma_2) V_2^2.$$

Quant au travail L_n des forces newtoniennes agissant sur l'élément, il est égal à

$$L_n = \rho S . \varphi . V t$$

φ étant la force rapportée à l'unité de masse, c'est-à-dire $\frac{U_2 - U_1}{\delta}$ (U_2 et U_1 potentiels en σ_2 et σ_1 ; δ distance de ces sections), d'où

$$L_n = \rho S \frac{U_2 - U}{\delta} V t = \rho\sigma (U_2 - U_1) V t$$

σ section moyenne. Il convient d'ajouter à ce travail celui des forces élastiques, qui est mesuré par la diminution $- E_e$ de l'énergie élastique dans l'élément et par le travail L_e exécuté par les tensions agissant à la surface de l'élément. On a donc finalement

$$E_c = \frac{1}{2}(\rho_1 V_1 t \sigma_1) V_1^2 - \frac{1}{2}(\rho_2 V_2 t \sigma_2) V_2^2 + L_n - E_e + L_e \qquad (6)$$

Mais l'expression de L_n peut s'écrire

$$\rho_2 \sigma_2 U_2 V_2 t - \rho_1 \sigma_1 U_1 V_1 t + (\rho_1 \sigma_1 V_1 t - \rho\sigma V t) U_1 + (\rho\sigma V t - \rho_2 \sigma_2 V_2 t) U_2$$

et en remplaçant dans les deux derniers termes U_2 et U_1 par la valeur moyenne U

$$\rho_2\sigma_2 U_2 V_2 t - \rho_1\sigma_1 U_1 V_1 t + U(\rho_1\sigma_1 V_1 t - \rho_2\sigma_2 V_3 t) = \rho_2\sigma_2 U_2 V_2 t - \rho_1\sigma_1 U_1 V_1 t + U\mu t$$

μ étant l'accroissement de masse par unité de temps.

D'où :

$$E_c + E_e - U\mu t - L_e = \sigma_1 t\left(\frac{1}{2} V_1^2 - U^2\right) V_1 \rho_1 - \sigma_2 t\left(\frac{1}{2} V_2^2 - U^2\right) V_2 \rho_2.$$

Divisant par t et désignant $\frac{E}{t}$ par e, on a

$$e_c + e_e - U\mu - \frac{L_e}{t} = \sigma_1 \left(\frac{1}{2} V_1^2 - U_1\right) V_1 \rho_1 - \sigma_2 \left(\frac{1}{2} V_2^2 - U^2\right) V_2 \rho^2.$$

Admettons que le *second flux d'énergie* parcoure les tubes de mouvement avec une intensité par unité de surface égale à

$$\left(\frac{1}{2} V^2 - U\right) V \rho ;$$

ce flux ne peut évidemment exister que dans les régions occupées par la matière. Le second membre de l'équation précédente mesure la variation de ce flux et l'équation montre que le flux en traversant une région de l'espace produit non seulement la somme des variations cinétique et élastique e_c et e_e mais laisse encore un résidu

$$- U\mu - \frac{L_e}{t}$$

Composant ce second flux avec le premier $U\mu$ disparaît, et le flux résultant fournit en chaque élément l'accroissement des énergies potentielle, élastique et cinétique plus un résidu $-\frac{L_e}{t}$.

Ce résidu va lui-même être éliminé par le troisième flux. L'auteur montre en effet que le travail $\frac{L_e}{t}$ des tensions par unité de temps est équivalent à un flux d'énergie.

En tout point de l'espace occupé par la matière, on imagine un élément plan σ normal à la direction de la vitesse V (fig. 6) et l'on considère la tension T par unité de surface qui est exercée sur σ par la partie opposée à celle vers laquelle la matière se déplace. Ce vecteur T conduit à la considérations de *lignes* et de *tubes de tension*.

Soit alors un élément de volume infiniment petit compris dans un tube de tension (fig. 7)

entre deux sections σ et σ' respectivement normales aux directions V et V' du mouvement. Les tensions T et T_1 exercées par la partie exté-

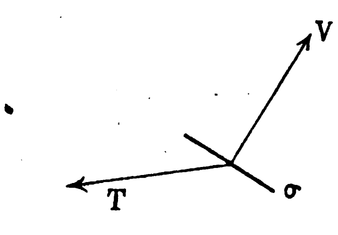


Fig. 6.

rieure sur σ et σ' ont la direction du tube, les tensions latérales τ et τ' s'exercent parallèlement à σ et σ', par suite leur travail est négligeable

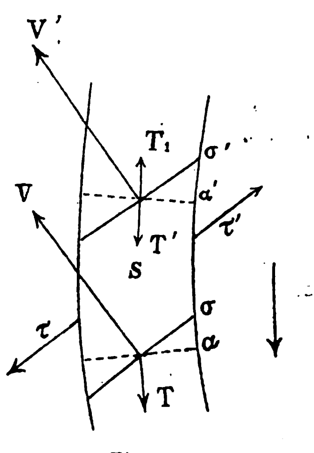


Fig. 7.

puisqu'elles sont perpendiculaires à la direction du mouvement. Le travail des tensions se réduit ainsi à celui de T et T_1, c'est-à-dire à

$$T\sigma . Vt . \cos (TV) + T_1\sigma' . V't . \cos (T_1V').$$

T' égale et opposée à T_1 représente la tension exercée sur σ' par la partie opposée à celle suivant laquelle a lieu le mouvement, l'expression précédente devient

$$T\sigma Vt \cos TV - T'\sigma'V't \cos T'V'$$

ou, si α et α' sont les sections normales,

$$T'\alpha'V' - T\alpha V$$

par unité de temps.

Le *troisième flux* considéré par l'auteur est celui qui parcourrait les tubes de tension dans le sens de celle-ci avec une intensité TV par unité de surface. Ce flux est, comme le second, limité aux régions de l'espace occupées par la matière. Ainsi, à travers α' il entre par unité de temps la quantité d'énergie $T'V'\alpha'$, tandis que par α sort la quantité $TV\alpha$ et le flux équivaut précisément au travail des tensions par unité de temps soit $\frac{L_e}{t}$.

De telle sorte que si l'on compose les trois flux, le flux résultant produit la variation des *énergies newtonienne*, *cinétique* et *élastique* ou de l'*énergie mécanique totale* en chaque élément.

En résumé, le flux d'énergie mécanique peut être considéré comme dû à trois flux d'énergie qui ont lieu respectivement suivant les tubes d'accroissement de force, les tubes de mouvement et les tubes de tension, les premiers parcourent tout l'espace, les deux derniers sont restreints aux régions occupées par la matière.

Le vecteur qui représente le flux d'énergie mécanique est la somme de trois vecteurs :

1. Le vecteur I, c'est-à-dire l'accroissement de force par unité de temps multiplié par $\frac{U}{4\pi}$, U étant le potentiel newtonien.

2. Le vecteur V, qui représente la vitesse du mouvement, multiplié par $\rho \left(\frac{V^2}{2} - U\right)$, ρ étant la densité de la matière.

3. Le produit de la grandeur de la vitesse V par le vecteur T qui représente la tension élastique par unité de surface, laquelle est exercée sur l'élément normal à la direction du mouvement par la partie opposée à celle vers laquelle la matière se déplace.

M. Volterra a appliqué ce résultat à différents cas tels que celui de corps s'attirants de forme sphérique et invariables. Cet exemple a été particulièrement traité dans une communication faite à l'Académie des sciences de Turin le 28 mai 1899 et à laquelle nous renvoyons le lecteur.

G. Goisot.

Le Gérant : C. Naud.



Tome XXV. Samedi 17 Novembre 1900. 7e Année. — N° 46

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

EXPOSITION UNIVERSELLE

GROUPE ÉLECTROGÈNE DE 1 000 KILOVOLTS-AMPÈRES DE MM. VAN DEN KERCHOVE ET Cie ET DE LA COMPAGNIE INTERNATIONALE D'ÉLECTRICITÉ DE LIÈGE.

La Société anonyme des anciens ateliers Van den Kerchove de Gand et la Compagnie internationale d'Électricité (anciens établissements Pieper) de Liège ont exposé en commun, la première pour le moteur à vapeur, et la seconde pour l'alternateur, un groupe électrogène à courants triphasés de 1 000 chevaux particulièrement remarqué dans la section étrangère. Les figures 1 et 2 donnent les vues en plan et en élévation de ce groupe.

Nous donnerons avant de décrire l'alternateur de la Compagnie internationale d'Electricité, quelques détails sur le moteur à vapeur Van der Kerchove qui est d'un type tout récent.

Moteur a vapeur. — La machine à vapeur de la Société anonyme des anciens ateliers de construction Van der Kerchove, représentée sur la photographie de la figure 1, est du type compound-tandem. Le cylindre à basse pression est boulonné directement au bâti et le petit cylindre placé à l'arrière.

Les dimensions principales sont :

Diamètre du cylindre à haute pression	63 cm
— à basse pression	109 cm
Course commune des pistons	120 »
Vitesse angulaire en tours par minute	100

La puissance en marche normale est de 1 000 chevaux indiqués avec une pression de vapeur de 9 kg : cm², une introduction de 2 dixièmes et une détente totale d'environ

**

13 fois le volume introduit. A 6 dixièmes d'introduction la puissance atteint 1800 chevaux indiqués.

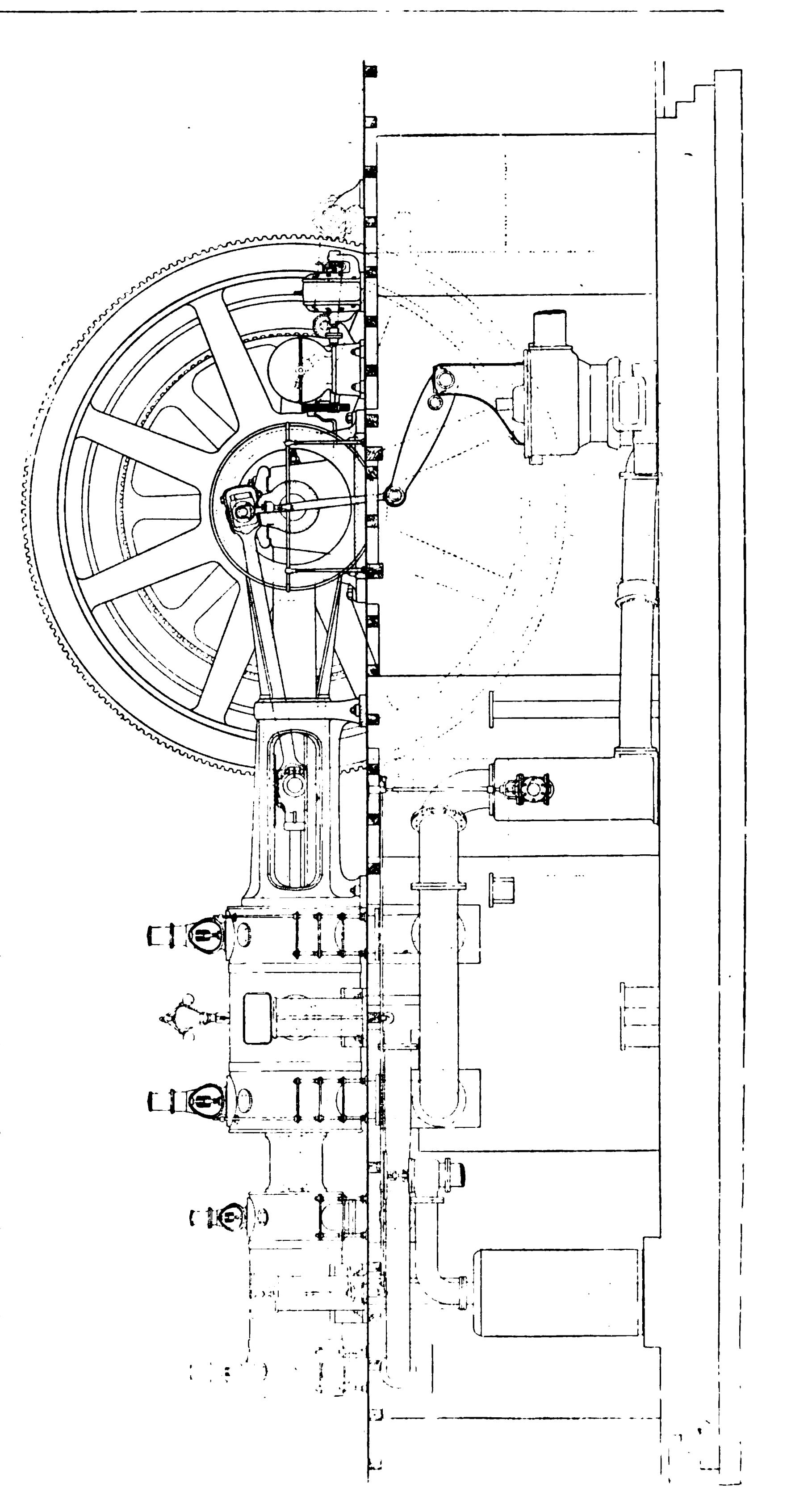
A l'Exposition, à cause du nombre de pôles de l'alternateur et de la fréquence imposée par l'administration, la vitesse de régime a été réduite à 83,1/3 tours seulement.

L'intérêt de cette machine réside dans l'application d'un système de distribution complètement nouveau, dont le principe est basé sur l'emploi de quatre obturateurs distincts affectant la forme de pistons et manœuvrant verticalement dans les fonds de cylindres. La coupe d'un de ces fonds que nous reproduisons sur la figure 4 montre comment les organes sont disposés.

Les « pistons-valves » sont constitués par de simples bagues munies de segments pour en assurer l'étanchéité, et reliées par des nervures aux tiges qui commandent leur mouvement.

Les chemises dans lesquelles travaillent les pistons-valves sont rapportées ; elles sont munies de lumières qui donnent communication par un canal circulaire avec le cylindre.

Lorsque l'obturateur d'admission, qui se trouve au-dessus, se soulève, il découvre les lumières, et la vapeur qui remplit le fond du cylindre peut s'introduire dans celui-ci ; la descente du piston assure, au contraire, la fermeture de l'introduction.



L'échappement se fait d'une façon analogue ; la levée du piston-valve, en ouvrant les lumières, permet à la vapeur de passer par-dessous au conduit d'échappement, qui n'est pas représenté sur la figure.

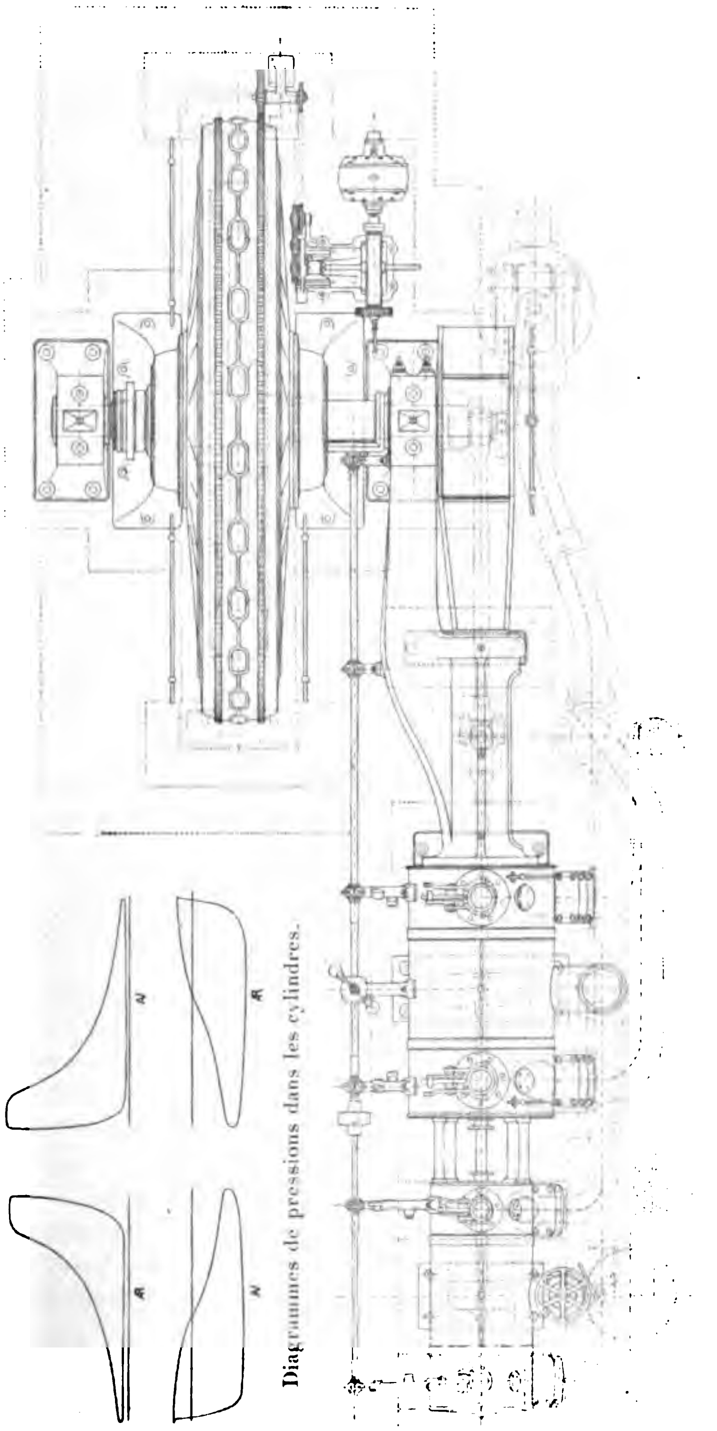


Fig. 1 et 2. — Vue en plan et en élévation du groupe électrogène de MM. Van den Kerchove et Cie, et de la Compagnie internationale d'Électricité de Liège.

Les avantages de ce dispositif sont les suivants :

1° La vapeur devant remonter vers les lumières d'admission, la quantité d'eau entraînée est réduite au minimum ; par contre l'eau, qui peut se trouver dans le cylindre, est évacuée chaque fois par les lumières d'échappement qui se trouvent à la partie la plus basse.

2° Les espaces nuisibles sont très minimes et les parois en contact avec la vapeur, lors de son introduction dans le cylindre, ont une surface très réduite.

Comme ces surfaces sont chauffées par la vapeur vive qui baigne complètement toutes les cavités du fond du cylindre, il en résulte que la condensation initiale est aussi faible que possible.

3° La disposition verticale des pistons-valves empêche toute usure par suite du poids de ces organes; le seul frottement est celui résultant de pression légère qu'exercent les segments sur les parois pour assurer l'étanchéité.

4° Enfin leur équilibre sous toutes les pressions est assuré.

Mouvement de distribution. — Le mouvement de distribution qui commande les obturateurs, présente, dans son ensemble, une grande analogie avec les mécanismes des machines à soupapes. Il en diffère cependant en réalité d'une façon essentielle.

Le caractère principal des obturateurs consiste en effet dans ce fait qu'ils ne viennent

pas buter contre un siège ; ils dépassent librement le point de fermeture et possèdent un certain recouvrement.

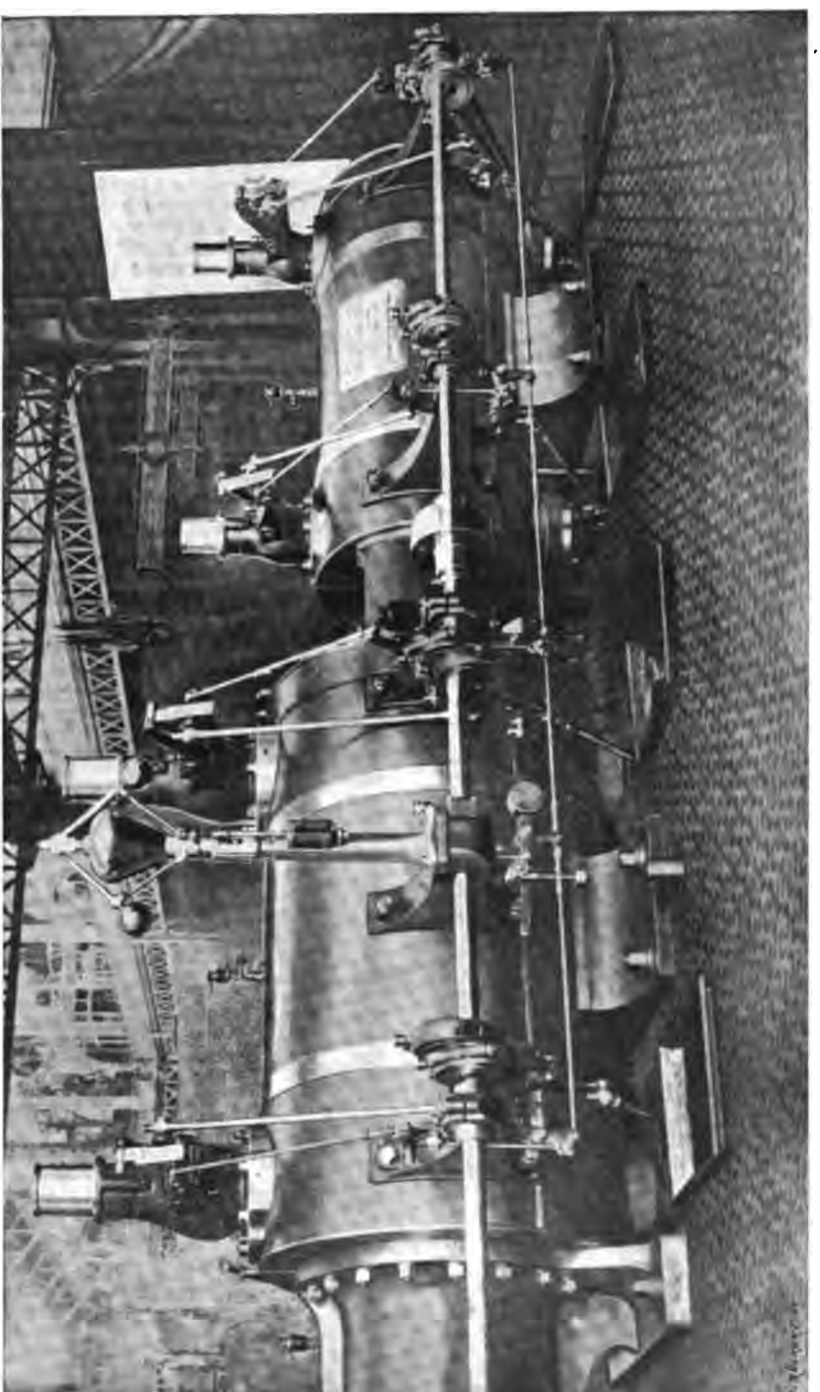


Fig. 3. — Vue du moteur à vapeur de MM. Van den Kerchove et Cie, à distribution par piston valves.

Ceci permet aux obturateurs d'admission d'acquérir progressivement, sans choc ni enclenchement brusques, une certaine vitesse pour le moment de l'ouverture des lumières; inversement, lors du déclenchement, les pistons-valves retombent sans hésitation en coupant nettement l'admission de la vapeur.

Leur élan n'est amorti par le dashpot qu'après la fermeture, de sorte que le réglage de ce dashpot n'a rien de délicat ni de difficile. Il est établi une fois pour toutes et convient à toutes les levées, à toutes les pressions et à tous les régimes de marche.

Quant aux obturateurs d'échappement, ils sont conduits d'une façon continue sans le secours de cames, ni de ressorts de rappel.

Régulateur. — Le régulateur, placé au centre du cylindre, commande la position des butées de déclic d'une façon tout à fait indépendante.

Dans la machine à multiple expansion, il agit à volonté sur tous les cylindres, ou sur le cylindre à haute pression seulement.

Une combinaison cinématique des leviers qui transmettent le mouvement au déclic,

permet de corriger les inégalités d'introduction à l'avant et à l'arrière, provenant de l'obliquité de la bielle motrice.

Enfin, un dispositif de sécurité, très simple, a pour effet de couper automatiquement la vapeur dans le cas où le régulateur, par suite d'un accident, tomberait à fond de course. Tout emballement de la machine se trouve ainsi évité.

Dans son ensemble, la machine exposée par les ateliers Van den Kerchove possède les qualités de solidité, de simplicité et d'élégance de forme qui ont fait la réputation de cette maison.

Les coussinets du palier et de la bielle sont en acier garni de métal blanc ; la crossette, en acier coulé, est munie de patins en fonte de très large portée, à hauteur réglable ; son tourillon, en acier raffiné et trempé, est pincé dans son logement par des boulons de serrage. Les cylindres sont munis d'enveloppes de vapeur à grande section ; la soupape de prise de vapeur est d'un accès et d'une manœuvre faciles.

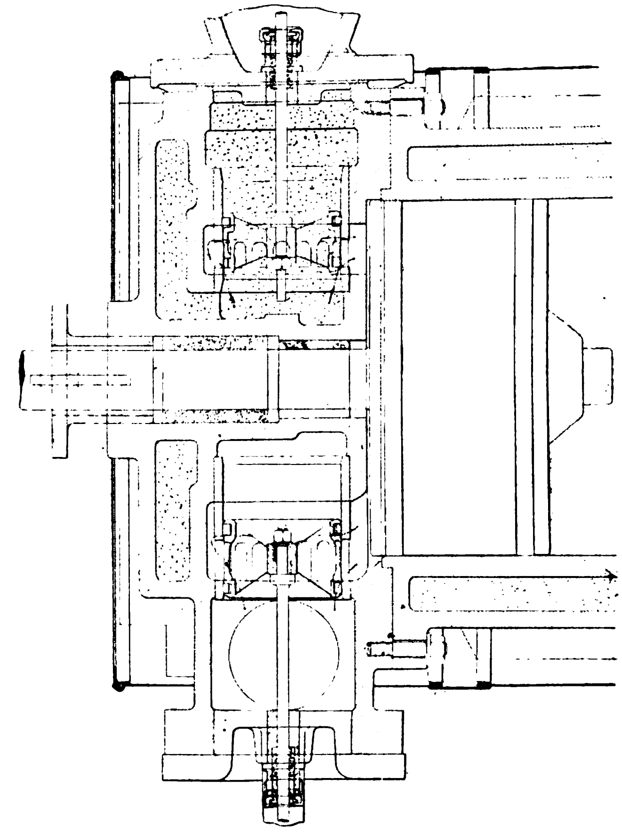


Fig. 4. — Détail d'un fond de cylindre du moteur à vapeur de MM. Van den Kerchove montrant la distribution par pistons valves.

La condensation se trouve dans le sous-sol ; la pompe à air est verticale et munie d'un clapet de pied pour assurer un vide parfait.

La machine est particulièrement soignée au point de vue des appareils de graissage ; tout est disposé de façon à pouvoir lubrifier en marche. Les coussinets sont graissés par des bagues, entraînant l'huile d'un réservoir qui se trouve logé dans les paliers.

Les articulations de la bielle sont lubrifiées par des appareils automatiques, les cylindres et les obturateurs par des pompes munies de tubes à goutte visible et de pointeaux de réglage.

ALTERNATEUR. — L'alternateur triphasé de la Compagnie internationale d'Electricité de Liège (fondée par M. Henri Pieper) est du type volant ; il est d'un aspect robuste.

La puissance de l'alternateur est de 1 000 kilowolts-ampères et il est établi pour fonctionner avec un facteur de puissance ne descendant pas au-dessous de 0,85.

La tension aux bornes est de 2 200 volts et l'induit est groupé en étoile. La tension simple normale est donc de 1 270 volts ce qui correspond à une intensité de 262 ampères par phase.

A la vitesse de 83,3 tours par minute, la fréquence est de 50 périodes, le nombre de pôles inducteurs étant de 72.

La photographie de la figure 5 représente une vue de l'alternateur de la Compagnie Internationale d'électricité et celle de la figure 6, la mise en place, pendant le montage, de la moitié supérieure de l'induit.



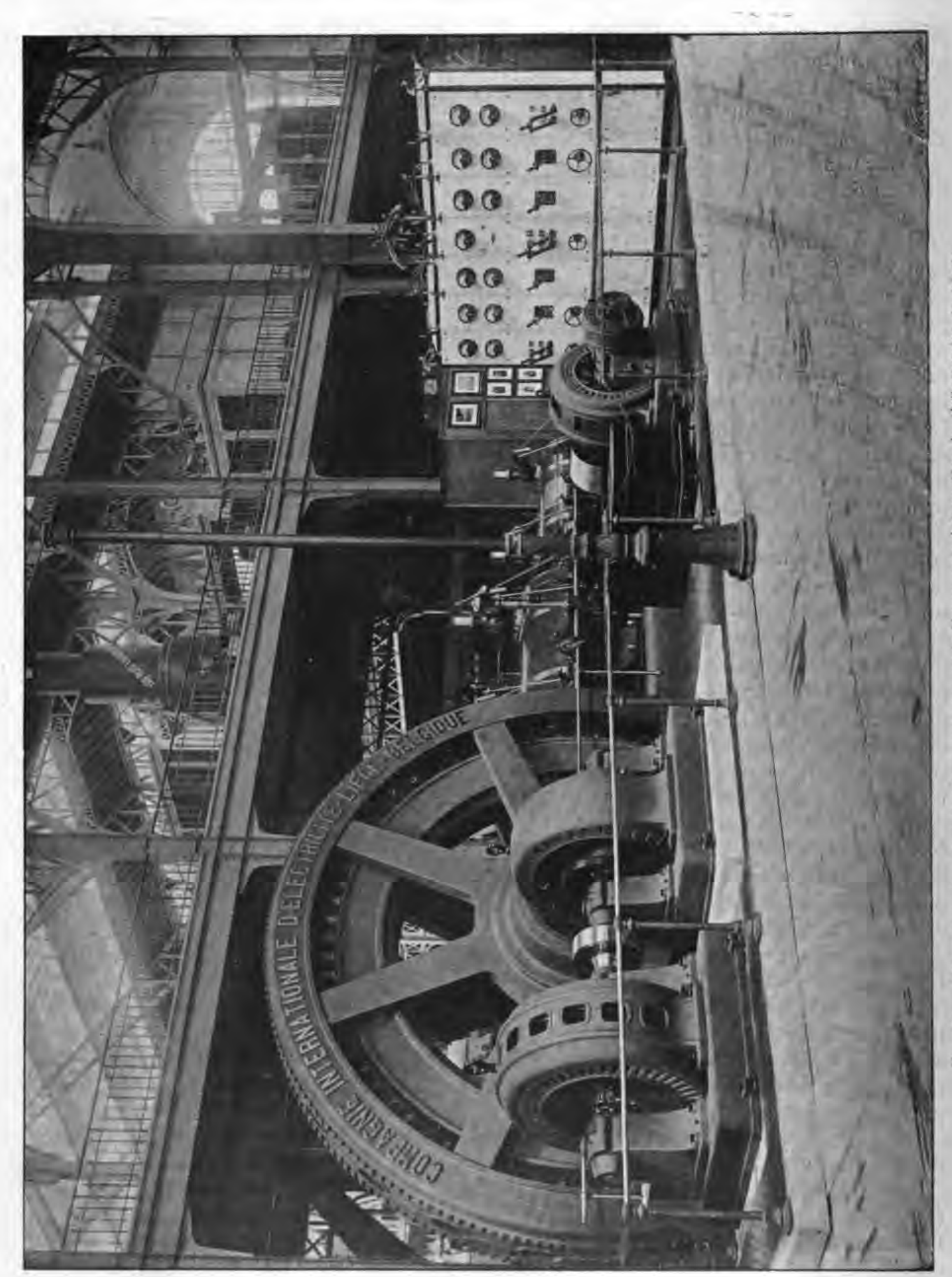


Fig. 5. — Alternateur de 1 000 kilovolts-ampères de la Compagnie internationale d'Électricité de Liège.

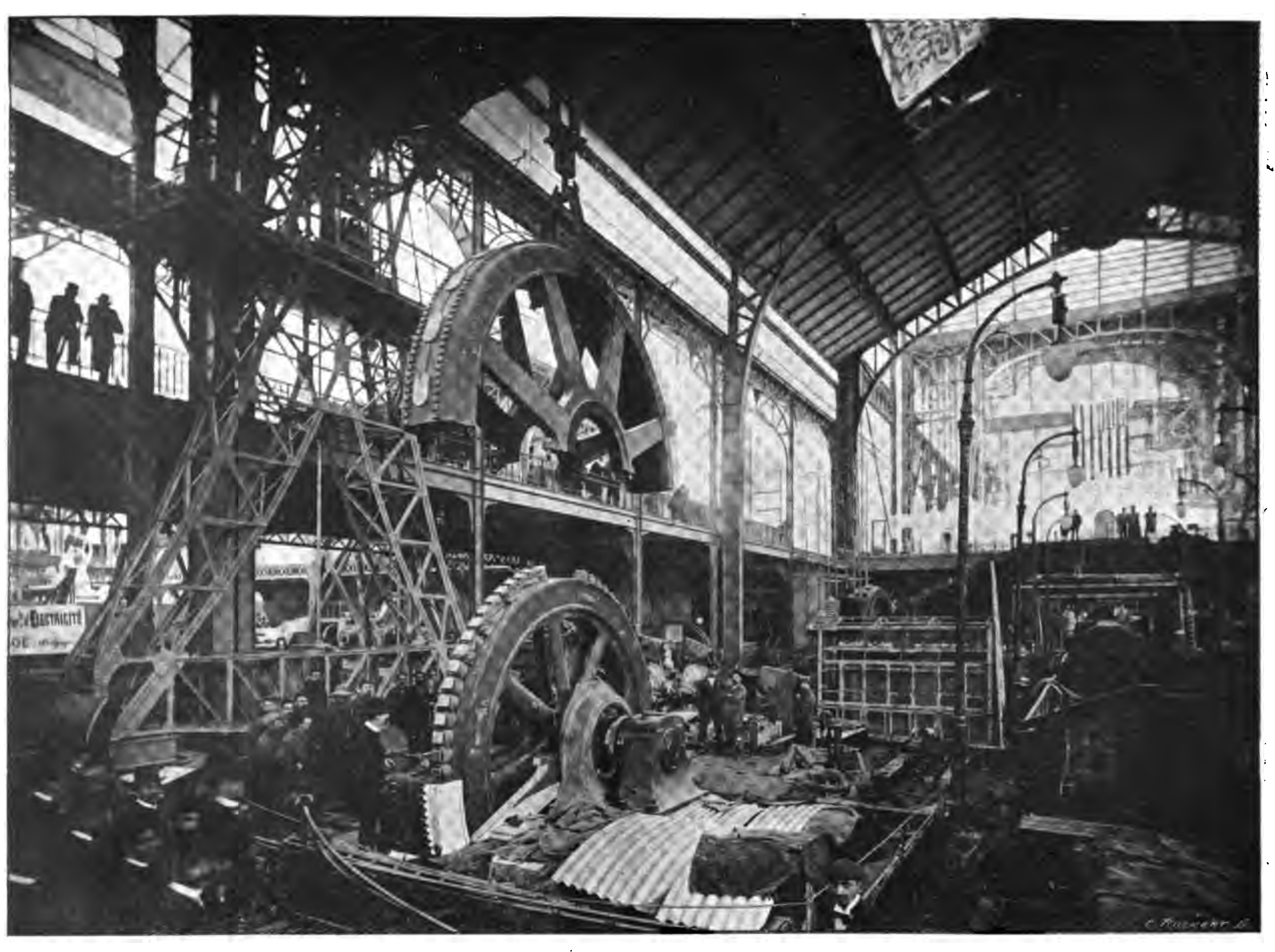


Fig. 6. — Montage de l'alternateur de 1 000 kilovolts-ampères de la Compagnie internationale d'Électricité de Liège; mise en place de la moitié supérieure de l'induit.

Les figures 7 et 8 ont des vues d'ensemble de l'alternateur et les figures 9 et 10 des coupes d'une partie de l'induit et de l'inducteur.

Inducteur. — Les pôles inducteurs sont disposés sur la jante d'un volant en fonte très lourd.

La jante du volant est en quatre parties réunies chacune par deux bras doubles au moyeu. L'assemblage des quatre morceaux du volant est fait à l'aide de deux agrafes, en forme de double T, par joint. Ces agrafes sont placées à chaud dans des logements pratiqués sur les faces de la jante. L'assemblage du moyeu est assuré par 12 boulons, 3 par joints.

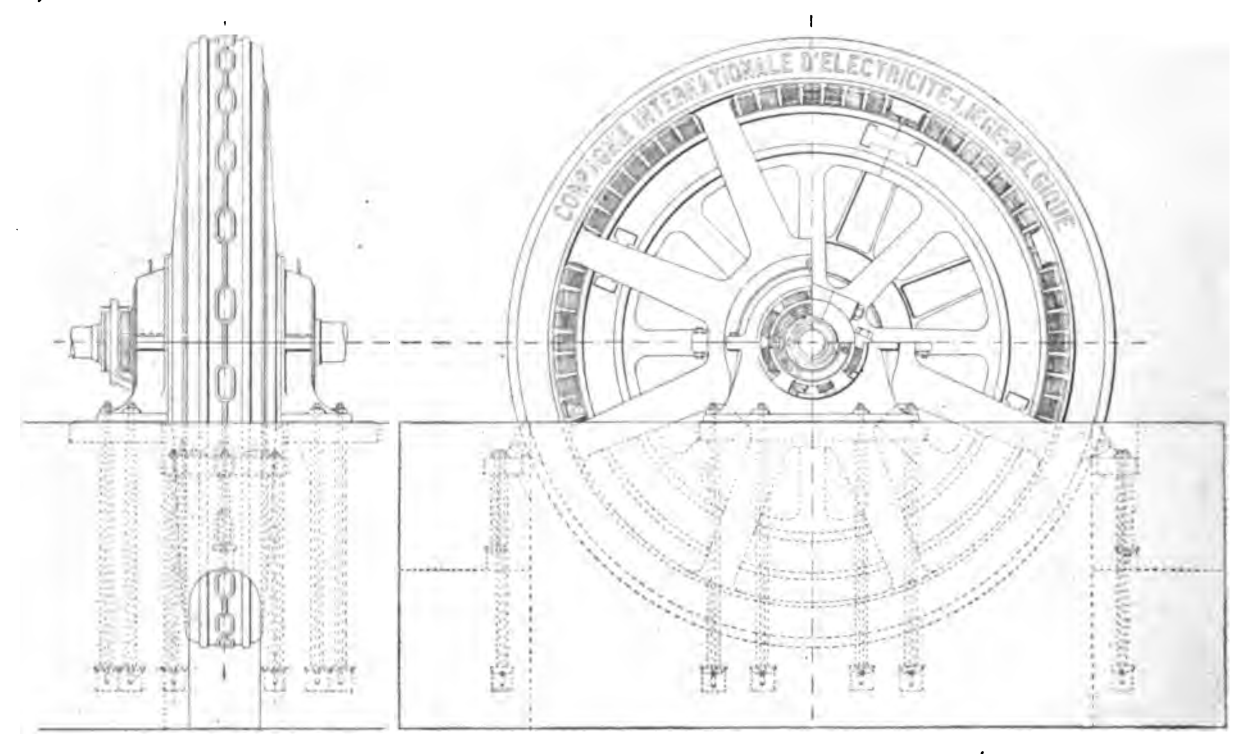


Fig. 7 et 8. — Vue de face et de bout de l'alternateur de la Compagnie internationale d'Électricité de Liège.

La jante a une section en forme d'U à branches assez longues ; les pôles inducteurs, légèrement encastrés dans sa surface, sont fixés par des vis la traversant complètement Ces pôles inducteurs en acier ont une section circulaire de 13,5 cm de diamètre et sont terminés par des épanouissements polaires de forme à peu près carrée. Les dimensions des épanouissements polaires sont de 15 cm sur 16.

Le diamètre extérieur de la jante est de 1,50 m et sa largeur de 61 cm. Le diamètre extérieur de l'inducteur est de 5,50 m.

L'enroulement inducteur est fait en fil, à section carrée (42 mm²).

Chaque bobine comporte 105 spires réparties en 5 couches.

Les bobines inductrices sont montées en deux séries de 36 et les deux groupes sont disposés en parallèle.

La résistance à chaud du circuit inducteur est de 0,5 ohm.

Le poids de l'inducteur atteint 39 tonnes.

Induit. — La carcasse inductrice est formée d'une caisse cylindrique en fonte coulée en 4 parties, lesquelles sont assemblées ensuite par des boulons. Chacune des quatre



parties constitue une demi-couronne, et porte intérieurement une nervure, c'est entre les nervures des demi-couronnes adjacentes que sont serrées à l'aide de boulons les tôles de l'induit.

Des ouvertures sont ménagées sur la surface extérieure de la carcasse pour assurer une bonne ventilation de l'induit.

La carcasse de l'induit est en outre supportée par deux anneaux auxquels elle est réunie par des bras venus de fonte avec elle et qui viennent s'appuyer sur deux supports entourant complètement l'arbre. L'excitatrice est logée dans l'un de ces supports.

La carcasse porte extérieurement deux dentures sur l'une desquelles s'engrène un pignon qu'on peut commander par le vireur même du volant. On peut ainsi faire tourner l'induit pour le visiter et pour réparer une bobine avariée.

En temps ordinaire la rotation de l'induit est empêchée par deux oreilles dans lesquelles passent des boulons fixés d'autre part dans des projections venues de fonte avec les plaques scellées sur les fondations.

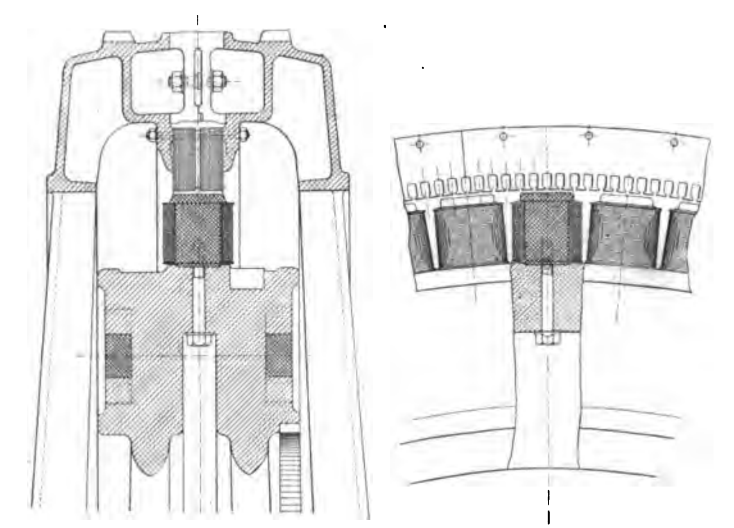


Fig. 9 et 10. — Coupes par l'axe et perpendiculaire à l'axe de l'alternateur de 1 000 kilovolts-ampères de la Compagnie internationale d'Électricité de Liège.

Le diamètre extérieur de la carcasse est de 6,40 m ; la largeur à la circonférence atteint 90 cm. Les tôles induites, isolées entre elles par une légère couche d'émail, sont réparties en deux couronnes présentant entre elles un canal pour leur ventilation.

La hauteur radiale des tôles est de 18,5 cm et la largeur totale du noyau de 15 cm. La largeur du canal laissé entre les deux couronnes est de 1,5 cm.

Le diamètre intérieur de l'induit est de 5,517 m et l'entrefer de 8,5 mm.

L'enroulement est logé dans des rainures de forme rectangulaire et à angles arrondis, les rainures sont légèrement fermées ; elles sont au nombre de 6 par pôles, soit 432 pour tout le pourtour de l'induit.

Les bobines induites occupent chacune deux encoches seulement, elles sont donc au nombre de 72 par phase c'est-à-dire 3 par pôle. Elles sont faites sur gabarit, logées dans des caniveaux en micanite et maintenues en place par des cales en matière isolante. Chaque bobine est essayée par rapport à la masse avec une tension supérieure de 3 000 volts à la tension normale.

Les bobines toutes identiques sont enchevêtrées les unes dans les autres ; la distance entre trois dents consécutives est à peu près celle des épanouissements polaires.

Chaque bobine comporte 5 spires de fil de 32 mm² de section. Toutes les bobines d'une même phase sont montées en série et les trois circuits groupés en étoile.

La résistance de chacun d'eux est à chaud de 0,125 ohm.

Le poids de l'induit avec ses supports est de 20 500 kg.

Excitatrice. — L'excitatrice de l'alternateur est calée sur l'arbre de la machine et logée dans un des supports de l'induit ; elle est représentée en coupe sur la figure 11. Ce dispositif a l'avantage de réduire l'encombrement au minimum.

***



La puissance de l'excitatrice est de 23 kilowatts sous 110 volts.

Cette dynamo est à 8 pôles et à induit tambour denté.

Le diamètre d'alésage de l'inducteur est de 80,0 cm et l'entrefer de 4 mm.

La largeur des tôles induites en deux couronnes séparées par un canal de ventilation est de 22 cm y compris le canal.

L'enroulement induit se compose de 2 sections de 243 spires de fil de 54 mm^2 réparti dans 81 encoches.

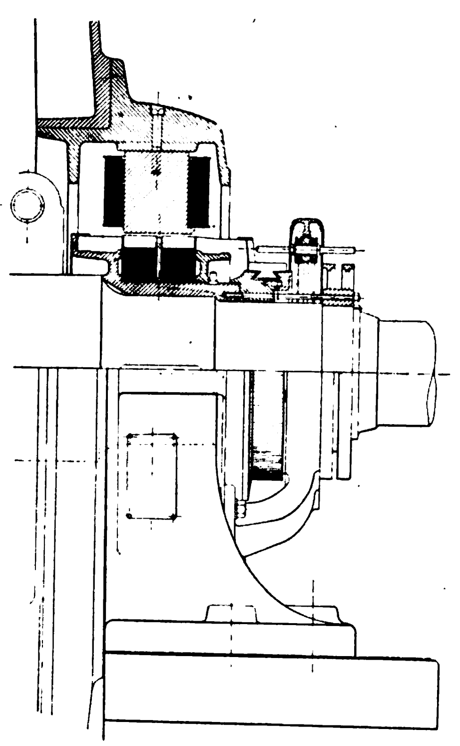


Fig. 11. — Coupe et vue de l'excitatrice.

Le collecteur comporte 243 lames ; son diamètre est de 64 cm et sa largeur de 10 cm.

Tableau de distribution. — Le tableau de distribution est composé de divers panneaux de marbre blanc. Il porte les appareils de mesure et de réglage ainsi que les interrupteurs dont la manœuvre se fait au moyen de leviers munis de bielles ouvrant ou fermant les lames qui sont derrière le tableau et à la partie supérieure de celui-ci pour éviter qu'on puisse s'en approcher.

Différents circuits sont dérivés sur les barres du tableau ; l'un d'eux alimente un transformateur à courant triphasé de 10 kilowatts abaissant la tension à 190 volts et alimentant des dynamos réceptrices à courants triphasés sur lesquelles nous reviendrons ultérieurement.

Résultats d'essais. — Le courant d'excitation nécessaire pour obtenir à vide la tension de 2200 volts est de 110 ampères. L'intensité normale de débit, 262 ampères, est obtenue en court-circuit avec un courant d'excitation de 75 ampères. En pleine charge avec un facteur de puissance de 0,85 l'intensité du courant déduite des caractéristiques à vide et en court-circuit par la méthode de Rothert doit être de 160 ampères.

Dans ce cas, la décharge brusque de la machine sans variation de vitesse ni d'excitation n'occasionnerait qu'une augmentation de tension de 11 p. 100.

Avec une charge de 1 000 kilowatts et un facteur de puissance égal à l'unité l'intensité calculée du courant d'excitation est de 136 ampères et l'augmentation de tension en cas de décharge brusque de 7 p. 100

GROUPE ÉLECTROGÈNE DE 450 KILOVOLTS-AMPÈRES DE MM. WEYHER ET RICHEMOND ET DE LA COMPAGNIE GÉNÉRALE ÉLECTRIQUE DE NANCY

La Compagnie générale électrique, de Nancy, et MM. Weyher et Richemond, de Pantin, ont exposé en commun, la première pour l'alternateur et les seconds pour le moteur à vapeur, un groupe électrogène (fig. 1, 2 et 3) à courants alternatifs triphasés en service à l'Exposition pour l'alimentation d'un commutateur Alioth installé au grand Palais.

Moteur a vapeur. — Le moteur à vapeur Weyher et Richemond est du type monocylindrique horizontal à condensation.

Les dimensions et constantes principales sont les suivantes :

Diamètre du cylindre	65 cm
Course du piston	130 cm
Pression de la vapeur d'admission	10 kg : cm²
Vitesse angulaire en tours par minute	93,5

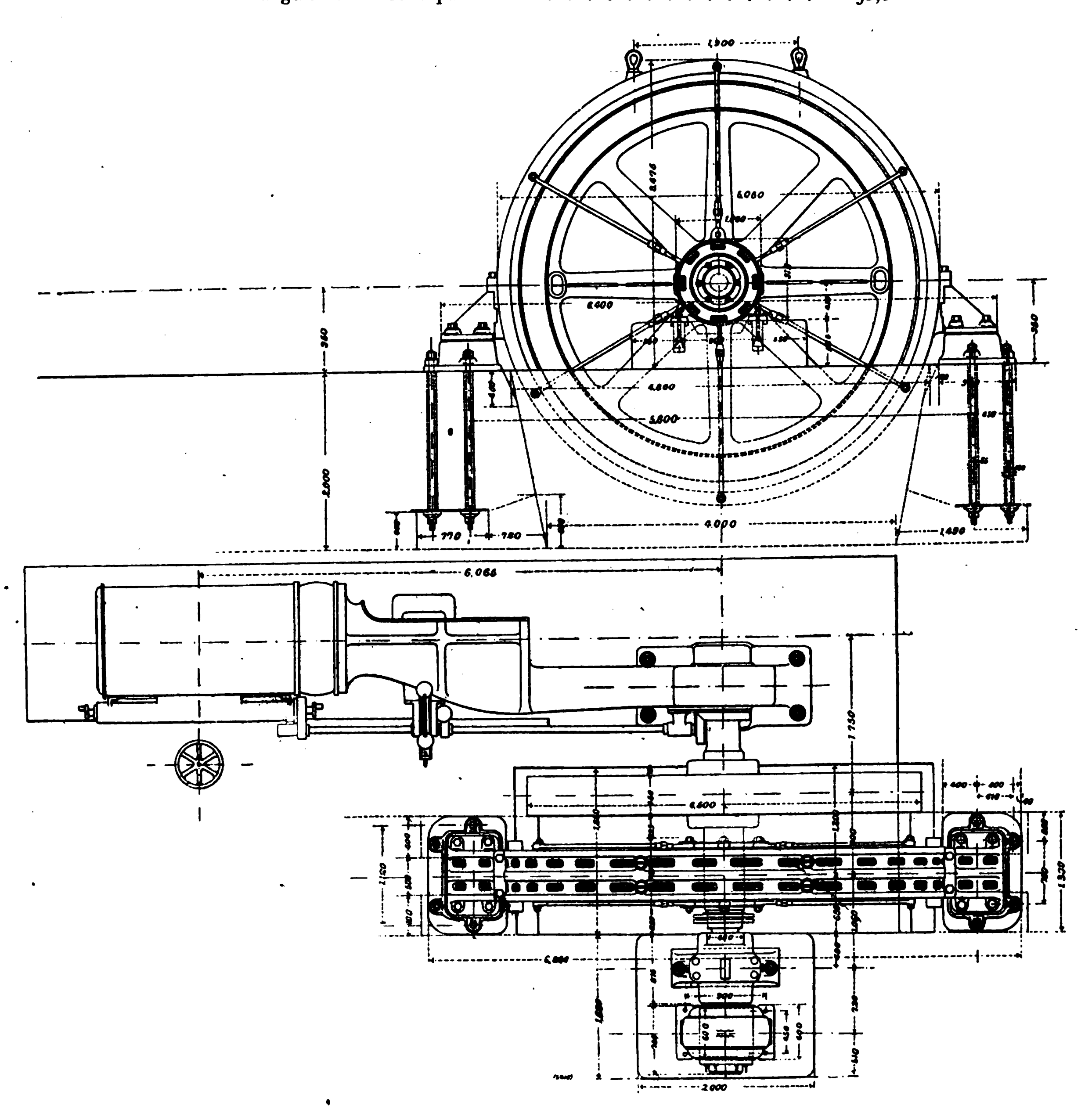


Fig. 1 et 2. — Vues en élévation et en plan du groupe électrogène de MM. Weyher et Richemond, et de la Compagnie générale Électrique de Nancy.

A cette pression et à cette vitesse, la puissance normale de la machine est de 500 chevaux effectifs et peut être poussée jusqu'à 800 chevaux.

La distribution est du système Lefer par obturateurs placés dans les fonds de cylindre

et commandés par un arbre horizontal disposé parallèlement à l'axe du cylindre et actionné par un pignon denté.

La machine n'a pas de condenseur spécial, la condensation est faite par un condenseur général servant à toute l'installation de MM. Weyher et Richemond.

En dehors de l'inducteur de l'alternateur, le moteur à vapeur comporte un volant spécial d'un diamètre de 4,5 m.

Fig. 3. — Groupe électrogène de 450 kilovolts-ampères de MM. Weyher et Richemond, et de la Compagnie générale électrique de Nancy.

ALTERNATEUR. — L'alternateur triphasé exposé par la Compagnie générale électrique de Nancy a une puissance apparente de 450 kilovolts-ampères et est établi pour fonctionner avec un facteur de puissance minimum de 0,8 ; sa puissance vraie avec ce facteur de puissance est de 350 kilowatts.

La tension aux bornes est de 3 000 volts et la tension simple de 1 730 volts, l'intensité du courant par phase est de 87 ampères.

La fréquence est de 50 périodes et le nombre de pôles de 64, correspondant bien à une vitesse angulaire de 93,5 tours par minute.

Inducteur. — L'inducteur est constitué par un volant en acier coulé en deux parties reliées au moyeu par 8 bras doubles à section en forme de T. Ces deux parties sont assem-

blées le long de deux de ces bras à l'aide de gros boulons et de frettes posées à chaud dans des logements pratiqués à cet effet.

Les 64 pôles en acier coulé sont fixés chacun sur la jante du volant au moyen de deux vis traversant complètement celle-ci. Ces noyaux d'une forme ovale sont surmontés



Fig. 4. — Induit de l'alternateur de la Compagnie générale électrique de Nancy.

par des épanouissements polaires venus de fonte avec eux et ayant une surface rectangulaire.

Le rapport de la largeur du pôle au pas est de deux tiers.

Le diamètre extérieur du volant est de 4,488 m et l'entrefer de 6 mm.

Les bobines des électros sont enroulées mécaniquement sur des carcasses isolantes et de façon à éviter tous croisements et tous raccords longs. Ces bobines sont faites avec une barre de section rectangulaire enroulée sur plat ; la section de la barre constituant le circuit inducteur est de 46 mm² et le poids de cuivre de ce circuit de 1 650 kg, soit 25,8 kg par bobine.

Toutes les bobines sont réunies en série et le circuit ainsi formé aboutit par l'intermé-



diaire de deux câbles logés à l'intérieur de l'un des bras doubles à deux bagues par où, à l'aide de frotteurs, est amené le courant continu nécessaire à l'excitation.

La résistance du circuit d'excitation à chaud est de 1,7 ohm.

Le poids de l'inducteur complet, sans l'arbre, est de 10 200 kg.

Induit. — La carcasse de l'induit (fig. 4) est formée par une carcasse très légère en fonte en quatre parties portant de nombreuses ouvertures pour la ventilation. Cette carcasse porte intérieurement, venus de fonte avec elle, deux anneaux reliés à cette carcasse par des nervures ménageant entre elles des ouvertures assez larges ; c'est entre ces deux anneaux que sont serrées les tôles induites à l'aide de boulons traversant les tôles dans des trous légèrement ouverts pratiqués à la surface extérieure de l'anneau magnétique induit.

La carcasse induite est supportée par deux pattes en forme d'équerre reposant sur les plaques de fondation scellées aux massifs.

De chaque côté de l'induit se trouvent 6 tirants en fer forgé aboutissant à un collier formé de deux anneaux concentriques ; ces tirants peuvent être réglés à l'aide d'écrous et leur ensemble procure à l'induit une rigidité mécanique à toute épreuve, et lui donne un aspect de grande légèreté en même temps qu'il diminue le poids brut de fonte par rapport au poids actif des tôles de l'induit.

Le diamètre extérieur de la carcasse est de 505 cm et sa largeur de 58 cm.

Le diamètre d'alésage de l'induit est de 4 500 mm.

Le noyau induit en tôle de 0,5 mm d'épaisseur comporte 384 encoches, soit 6 par pôle, dans lesquelles sont réparties les trois phases de l'enroulement triphasé.

Le bobinage de l'induit est tel que les 32 bobines complètes de chaque phase sont toutes semblablement placées de façon à éviter les croisements.

Les encoches de l'induit sont légèrement ouvertes et l'enroulement est isolé du fer par des tubes en micanite.

Chaque bobine comprend deux bobines élémentaires enroulées chacune dans deux encoches ; ces bobines sont effectuées avec un câble d'une section totale de 29 mm². Le poids de cuivre de l'induit est de 540 kg ; ce qui correspond à 5,625 kg par bobine complète.

La résistance de chaque phase de l'induit groupé en étoile est de 0,33 ohm à chaud.

Le poids total de l'induit avec les plaques de fondation est de 15 000 kg.

Excitatrice. — L'excitatrice, calée sur l'arbre et en porte-à-faux, a une puissance de 9 000 watts sous 120 volts.

C'est une machine à 6 pôles ; la carcasse inductrice en acier est coulée en une seule pièce et les noyaux polaires sont venus de fonte avec elle. Le diamètre extérieur de l'inducteur est de 100 cm et sa largeur totale de 35 cm. Le diamètre d'alésage des inducteurs est de 578 mm et l'entrefer de 6 mm.

L'induit denté est enroulé en tambour, il a un diamètre de 566 mm et comporte 184 sections.

Le collecteur porte un même nombre de lames isolées au mica et a un diamètre de 39 cm ; les balais sont en charbon.

L'excitatrice est excitée en série ; un seul rhéostat est disposé dans le circuit de l'inducteur de l'alternateur pour le réglage de la tension aux bornes de l'induit.

Résultats d'essais. — L'intensité du courant d'excitation pour obtenir aux bornes, à la vitesse angulaire de 93,8 t : m et à vide, la tension normale de 3 000 volts est de 40 ampères.

L'intensité du courant de débit de 87 ampères par phase est obtenue en court-circuit avec un courant d'excitation de 13,5 ampères et correspond à une tension induite égale environ au tiers de la tension normale aux bornes.



En charge de 450 kilowatts avec un facteur de puissance égal à l'unité, l'intensité du courant d'excitation est de 45 ampères. En cas de décharge brusque sans variation de la vitesse la tension n'augmente dans ces conditions que de 5,5 p. 100.

COMMANDES ÉLECTRIQUES DE MÉTIERS A TISSER DE LA VEREIGNITE ELEKTRICITÆTS ACTIENGESELLSCHAFT, DE VIENNE

Bien que l'emploi de l'électricité pour la commande des métiers à tisser ait pris dans ces dernières années une extension assez considérable, le développement de cette appli-

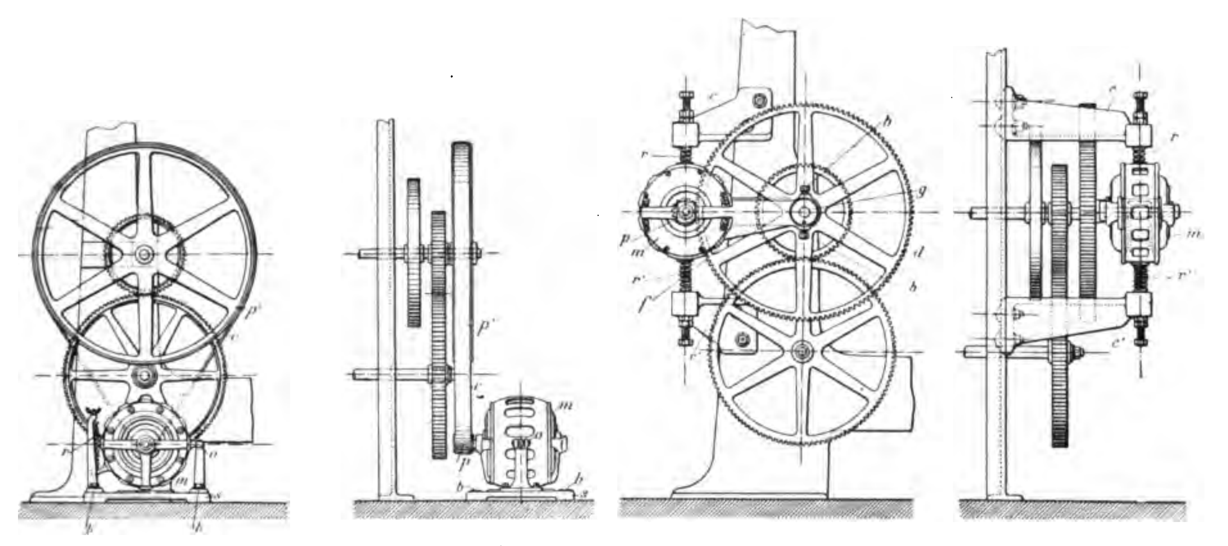


Fig. 1 et 2. — Commande par courroie. Fig. 3 et 4. — Commandes par engrenage.

cation s'est trouvé assez longtemps retardé par la nécessité d'avoir une marche bien régulière et de pouvoir néanmoins changer, suivant la nature du travail, la vitesse angulaire de l'arbre principal du métier. La Vereignite Elektricitæts Actiengesellschaft a très ingénieusement surmonté ces deux difficultés en utilisant la propriété des moteurs synchrones de conserver une vitesse angulaire constante quelle que soit la charge et en imaginant un dispositif de transmission de mouvement permettant de changer, rapidement et facilement, le rapport de transmission.

Ce dispositif est représenté par les figures 1 et 2 pour le cas d'une commande par courroie et par les figures 3 et 4 pour celui d'une commande par engrenage. Dans le premier cas le moteur *m* prend appui sur un socle en bois rectangulaire *s*, fixé au sol sans fondations au moyen de boulons *b*; ce socle est muni de deux montants métalliques qui supportent le moteur, l'un directement au moyen d'un axe *o*, l'autre par l'intermédiaire d'un fort ressort à boudin *r*. Le mouvement est transmis de la poulie *p* calée sur l'arbre du moteur à la poulie *p'* au moyen de la courroie *c* dont la tension, due au poids du moteur, est réglable à volonté au moyen du ressort à boudin. Lorsqu'on veut changer la vitesse de l'arbre du métier à tisser, il suffit de remplacer la poulie de l'arbre du moteur par une autre de diamètre différent; par suite de la suspension élastique du moteur la variation du diamètre de la poulie se trouve compensée par un simple allongement ou raccourcissement du ressort à boudin.

Quand la commande se fait par engrenages, le moteur *m* (fig. 3 et 4) est maintenu, d'une



part, par deux ressorts à boudin *r* et *r'* à tension réglable placés entre les consoles *cc'* et, d'autre part, par une flasque *f* fixée d'un côté au moteur et s'appuyant de l'autre sur l'axe de la roue dentée *d* par l'intermédiaire d'un disque excentré *g* autour duquel la flasque forme collier. En faisant tourner le disque dans ce collier on modifie dans une certaine mesure la position du moteur par rapport a l'axe de suspension et par conséquent la distance de cet axe à celui du pignon *d* qui mène la roue dentée *d*; on peut donc régler ainsi la prise des dents; quand le réglage est effectué, on fixe le disque *g* à la flasque en serrant les boulons *b*. Si l'on veut modifier la vitesse angulaire de la roue *d* il suffit encore de changer le pignon *p* du moteur; la variation du diamètre est alors compensée par une rotation convenable du disque excentré *g*.

La mise en marche du moteur s'obtient, dans l'une et l'autre des dispositions précédentes, au moyen d'un commutateur placé dans le voisinage du moteur et que l'ouvrier chargé de la conduite du métier peut manœuvrer à distance. Ce commutateur est disposé de manière à arrêter automatiquement le moteur chaque fois qu'un fil cassé nécessite l'arrêt du métier.

J. Reyval.

CONGRÈS INTERNATIONAL D'ÉLECTRICITÉ [1]

SUR L'EMPLOI DES CONDENSATEURS, par Maurice Leblanc.

Nous avons essayé, dès 1890, de nous servir de condensateurs, surtout dans le but de décomposer un courant alternatif simple en courants polyphasés capables d'actionner un moteur à champ tournant, dont le cos φ devait, en même temps, être rendu égal à 1.

Nous avons employé notamment des condensateurs en papier paraffiné construits par M. Labour, des condensateurs en papier noyé dans de l'huile de pétrole de M. Swinburne, des condensateurs faits avec de l'ébonite de un demi-millimètre d'épaisseur, à très bas prix (6 fr le kg), provenant d'une usine de Manheim et des condensateurs en verre à vitres. Ces derniers étaient chargés, par l'intermédiaire d'un transformateur.

Nous sommes ainsi parvenus à faire un moteur à courant alternatif monophasé, démarrant sous charge avec son courant normal, et ayant un cos φ égal à 1. Malheureusement les inconvénients inhérents à l'emploi de condensateurs nous ont empêché jusqu'ici de rendre ce moteur industriel [2].

---

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXIV, p. 275, 294, 334, 374, 414 et 486, 18 et 25 août, 1, 8, 15 et 22 septembre et t. XXV, p. 225, 10 novembre.

[2] Dans une première série d'essais, la machine génératrice était une machine Gramme, à intensité constante, servant à l'éclairage de bougies Jablochkoff. La réaction d'induit était telle que la machine, qui fournissait normalement 8 ampères sous 2400 volts, ne donnait que 10 ampères en court-circuit, son excitation étant la même dans les deux cas.

Nous avions muni la batterie de condensateurs d'un paratonnerre à soufflage magnétique d'Elihu Thomson, adapté par M. Labour à l'emploi des courants alternatifs. Le paratonnerre fonctionnait de temps en temps, au moment des variations de régime, sans amener aucun trouble dans l'installation, et les condensateurs étaient protégés. Dans ces conditions, nous étions arrivés à constituer un système peut-être peu économique, mais marchant bien.

Dans une seconde série d'essais, la machine génératrice fut une machine de M. Labour, à voltage constant et dont la réaction d'induit était remarquablement petite.

Dans ces nouvelles conditions, il nous fut impossible de faire fonctionner notre moteur. Le paratonnerre ne ces-

Depuis, ayant eu à faire des installations comportant des câbles armés qui avaient une capacité notable, nous avons constaté que des machines qui supportaient très bien leur voltage, en desservant des lignes aériennes, ne le pouvaient plus, lorsqu'on les fermait sur des câbles armés.

C'est ainsi qu'à l'usine du secteur des Champs-Elysées, on fit produire sans accident 4 000 volts à un de nos alternateurs, en le faisant travailler sur un rhéostat. On le mit ensuite sur le réseau, qui est constitué avec des câbles concentriques, et l'on fit monter progressivement son voltage ; à partir de 1500 volts, une pluie d'étincelles se manifesta dans son entrefer et mit le feu aux isolants. Il fallut remplacer ceux-ci par du mica.

Dans une autre installation, sur le secteur de la Société d'Eclairage et de Force à Paris, où l'on envoyait des courants alternatifs biphasés au voltage de 6000 volts dans des câbles concentriques : après avoir successivement renforcé l'isolation de tous les appareils, nous sommes arrivés à amener la rupture des câbles. Mais, cette fois, il fut facile de vérifier que l'on avait affaire à un simple phénomène de résonance, car sans rien changer au débit des appareils, nous avons pu amener ou faire disparaître les surélévations de voltage, en faisant varier la capacité du réseau ou sa self-induction. Les alternateurs, étant munis de circuits amortisseurs, développaient une force électromotrice très sensiblement sinusoïdale, mais cette installation desservait des transformateurs redresseurs dont les collecteurs étaient divisés en 12 sections.

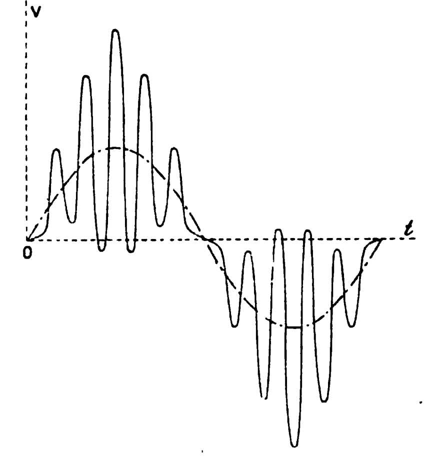


Fig. 1.

Le fonctionnement de ces derniers appareils développait dans chacune des branches du réseau une petite force électromotrice de fréquence douze fois plus grande que la fréquence normale, et dont la grandeur se trouvait affectée de battements, si bien que l'on pouvait la considérer comme la superposition des harmoniques de rangs 11 et 13 de la force électromotrice normale [1].

Un oscillographe suffisamment sensible, branché sur ce réseau, aurait dû donner une courbe de voltage telle que celle représentée par un trait continu sur la figure ci-jointe, au lieu de la sinusoïde représentée par une succession de points et de traits, sur la même figure.

Si l'on représente une semblable courbe pour l'équation :

$$h = \mathrm{H} \sin 2\pi\alpha t + h\left[\sin 2\pi(11)\alpha t + \sin 2\pi(13)\alpha t\right]$$

la valeur maximum de la différence de potentiels qu'auront à supporter les diélectriques sera égale à $\mathrm{H} + 2h$, tandis que le voltage efficace correspondant, tel que le mesurerait un électromètre, ne sera égal qu'à $\sqrt{\frac{\mathrm{H}^2 + 2h^2}{2}}$.

A égalité de voltage efficace, la différence de potentiels maximum qu'auront à supporter les

sait de se réamorcer, chaque fois que son arc avait été soufflé : l'intensité du courant variait continuellement et le régime ne pouvait s'établir.

Si l'on ne mettait pas de paratonnerre, les condensateurs étaient immédiatement mis hors d'usage.

Ces phénomènes étaient évidemment dus à l'emploi d'une génératrice à très faible réaction d'induit.

Comme, dans la pratique, nous devions avoir à disposer nos moteurs sur des réseaux à voltage constant, constituant des circuits à très petit coefficient de self-induction, et non à les intercaler dans des lignes parcourues par des courants d'intensité constante; comme, d'un autre côté nous n'apercevions aucun moyen de nous opposer aux accroissements de la force disruptive constatée, nous abandonnâmes ces essais.

[1] Ces forces électromotrices amenaient la superposition de différences de potentiels de mêmes fréquences, aux différences de potentiels normales. Ces différences de potentiels supplémentaires pouvaient avoir des valeurs incomparablement plus grandes que les forces électromotrices qui leur avaient donné naissance, lorsqu'il y avait résonance.

Or le coefficient de self-induction d'un réseau varie avec sa charge. Lorsque celle-ci variait graduellement, on arrivait toujours à faire résonner ces harmoniques de rangs 11 et 13, avant d'avoir obtenu la pleine charge.

****

diélectriques sera plus grande que si les variations de voltage suivaient la loi sinusoïdale. En effet, l'on a :

$$H + 2h = \sqrt{H^2 + 4hH + 4h^2} > \sqrt{2}\sqrt{\frac{H^2 + 2h^2}{2}}$$

et cet effet sera d'autant plus marqué que la quantité h sera plus grande.

Mais nos appareils de mesure ne peuvent pas mesurer le voltage efficace véritable, lorsqu'il y a des harmoniques susceptibles de résonner sur un réseau.

En effet, il est impossible de se servir alors d'électromètres qui seraient capables de mesurer ce voltage. Les distances explosives deviennent trop grandes : ils servent de paratonnerres et sont très rapidement mis hors d'usage.

On est toujours conduit à employer des voltmètres thermiques desservis par l'intermédiaire de petits transformateurs. Au coefficient de transformation près, le circuit du voltmètre peut être considéré comme ayant une impédance $\sqrt{r^2 + 4\pi^2\alpha^2 l^2}$ où r représente la résistance propre du voltmètre, l un coefficient de self-induction correspondant aux fuites magnétiques du transformateur et α la fréquence du courant.

Tant que la fréquence α est normale, soit égale 40 ou 50, l'impédance $\sqrt{r^2 + 4\pi^2\alpha^2 l^2}$ ne diffère qu'extrêmement peu de la résistance r, mais il n'en est plus de même si la fréquence α devient très supérieure, c'est-à-dire si c'est celle d'une harmonique de rang élevé, telle que la 12e.

L'impédance du circuit du voltmètre est alors très différente de sa résistance. Cet appareil qui indiquait le véritable voltage efficace, lorsque la fréquence était égale à 40, par exemple, n'indiquera plus qu'un voltage efficace très inférieur au voltage efficace réel, lorsque la fréquence sera devenue, 480.

Le voltage efficace, mesuré par nos appareils industriels, ne représente donc guère que celui qui correspondrait aux variations de voltage ayant la fréquence normale, comme si les harmoniques n'existaient pas.

Pour les deux raisons précédentes, nous voyons que : si l'on maintient le voltage constant sur un réseau, en s'en rapportant aux indications d'un voltmètre desservi par un transformateur, les sommets de la courbe de la figure précédente pourront atteindre des hauteurs quelconques, si des harmoniques viennent à résonner, sans qu'il y ait aucune relation entre ces hauteurs et la grandeur du voltage mesurée par le voltmètre.

C'est ainsi, qu'à l'usine de Saint-Ouen, nous avons vu jaillir un arc entre deux conducteurs distants de 14 cm, alors que le volmètre indiquait 6 000 volts (1).

Or si l'on a pu se passer des services qu'auraient pu rendre les condensateurs, on ne peut songer à se passer des câbles armés, pour constituer les réseaux.

Il était donc nécessaire de rechercher les moyens de supprimer les résonances d'harmoniques.

Supposons d'abord qu'il s'agisse d'un réseau en câbles armés dont la capacité soit constante.

Si nous désignons par c la capacité du réseau, par L son coefficient de self-induction, et par A celui de l'armature de l'alternateur qui l'alimente, il tendra à faire résonner des courants de fréquence β telle que l'on ait :

$$\beta = \frac{1}{2\pi\sqrt{c\frac{A\,L}{A+L}}}.$$

Lorsque l'alternateur tournera à vide, le coefficient L devra être considéré comme infini et la

(1) Nous ne rapportons ici que ce que nous avons vu, mais nous savons que des phénomènes de ce genre ont été fréquemment observés sur des réseaux constitués avec des câbles armés.

Ces phénomènes étaient d'ailleurs identiques à ceux que nous avions observés avec notre moteur à condensateur, lorsque nous l'alimentions avec la machine de M. Labour.

valeur de la fréquence β sera alors :

$$\beta_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{cA}} \cdot$$

Lorsque l'alternateur sera en pleine charge, le coefficient L sera environ cinquante fois plus petit que le coefficient A, la valeur de la fréquence β sera alors sensiblement égale à :

$$\beta_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{cL}} \cdot$$

La fréquence β_2 sera à peu près sept fois plus grande que la fréquence β_1.

La charge variant d'une manière continue, la valeur de la fréquence β coïncidera successivement avec celle de diverses harmoniques de la fréquence du réseau.

Le nombre d'harmoniques qui pourront successivement entrer en résonance sera d'autant plus élevé que la fréquence β_1 sera elle-même plus grande par rapport à la fréquence normale α. Mais cela n'aura pas d'importance si la fréquence β_1 est très élevée en grandeur absolue. En effet, les courants de cette fréquence et *a fortiori* de fréquence supérieure pourront difficilement se propager dans le réseau, car ils ne passeront plus qu'à la surface des conducteurs, et développeront des courants de Foucault intenses dans les masses de fer qu'ils contourneront. La résistance effective ainsi opposée à leur passage, les empêchera d'acquérir une grande intensité et les surélévations de voltage qu'ils détermineront ne seront pas dangereuses.

Il n'en sera plus de même si la fréquence β_1 diminue.

Toutes choses égales d'ailleurs, le coefficient de self-induction d'un alternateur croît comme le carré de son voltage. La fréquence β_1 est alors inversement proportionnelle au voltage.

D'un autre côté, si l'on augmente le voltage, c'est qu'on a à transmettre de l'énergie à une plus grande distance. Les câbles sont plus longs et la capacité c est augmentée, d'où une nouvelle diminution de la fréquence β_1.

Nous arriverons alors à faire résonner des harmoniques de fréquence assez basse, pour que des courants de ces fréquences puissent circuler dans le réseau, sans avoir à surmonter de résistance effective notablement supérieure à sa résistance ohmique.

C'est à ce moment que les phénomènes de résonance seront redoutables.

Mais si nous ne pouvons diminuer la capacité du réseau, nous pouvons l'augmenter et diminuer la fréquence β_1.

Nous diminuerons ainsi le nombre des harmoniques susceptibles de résonner et nous pourrons nous proposer de constituer des appareils générateurs ou récepteurs qui ne les produisent pas.

Il sera plus simple d'adjoindre des condensateurs aux divers appareils récepteurs, de manière que la capacité du réseau augmente, quand sa self-induction diminue. On pourra ainsi rendre constante la fréquence pour laquelle le réseau sera susceptible de résonner, et il sera facile de faire en sorte qu'elle ne corresponde à aucune des harmoniques qu'il superposera à son voltage fondamental.

Mais si la résonance se produisait pour les courants ayant la fréquence normale, il n'y aurait aucune surélévation de voltage à redouter si l'on maintenait constant le voltage efficace.

Cette constance pouvant être assurée automatiquement, à l'aide des divers modes de compoundage que l'on connaît, la résonance aurait simplement pour effet de rendre très sinusoïdale la courbe du voltage, et s'opposerait, au contraire, aux surélévations de voltage.

Conclusion. — En résumé il convient qu'un réseau n'ait qu'une très petite ou très grande capacité.

Il résulte des divers essais que nous avons faits sur les condensateurs et sur les câbles armés que tous les accidents que nous avons observés tenaient à la résonance d'harmoniques d'un rang peu élevé, et qu'il ne se passe rien d'anormal lorsqu'on empêche ces résonances de se produire.



Le développement naturel des distributions d'électricité conduira, dans un avenir peu éloigné, à constituer des réseaux où les courants de fréquence normale résonneront eux-mêmes ([1]).

Cela imposera l'emploi d'alternateurs compoundés à voltage constant, pour éviter les surélévations de voltage dues à cette résonance, et le moyen le plus simple d'assurer la sécurité du fonctionnement sera de faire croître la capacité du réseau avec sa charge. Il y aura donc lieu d'adjoindre des condensateurs à tous les récepteurs.

C'est qu'alors l'adjonction de ces appareils s'opposera aux résonances d'harmoniques, au lieu de les provoquer, comme elle l'a fait jusqu'ici.

L'emploi de ces appareils ne pouvant plus être une cause d'accidents, au contraire, nous pourrons enfin mettre à profit leurs merveilleuses propriétés, que tout le monde connaît.

MM. Boucherot et Lombardi ont, d'autre part, suffisamment étudié la fabrication de ces appareils, pour qu'on n'ait plus à redouter d'être arrêté par des questions de prix de revient.

Nous sommes donc convaincus que, dans ces conditions, l'emploi des condensateurs ne tardera pas à se généraliser et que l'on aménagera les réseaux déjà existants, de manière à y faire résonner les courants de fréquence normale.

REMARQUES SUR LES DISTRIBUTIONS EN SÉRIE PAR COURANT ALTERNATIF MONOPHASÉ

par Maurice Leblanc.

M. Thury a montré les avantages que présente l'emploi des machines à courant continu montées en série, lorsque l'on voulait opérer un transport de force en masse, à une très grande distance.

Nous croyons possible de réaliser un système semblable au sien, en substituant un courant alternatif monophasé au courant continu.

L'intérêt de cette substitution consistera : 1° dans la suppression des organes de commutation, 2° dans le réglage naturel de la vitesse des moteurs, qui ne dépendra que de la fréquence des courants employés.

Principe du nouveau système. — Nous emploierons des machines d'induction comme génératrices et utiliserons la faculté qu'elles possèdent de pouvoir être accouplées entre elles, ou avec un alternateur, en série aussi bien qu'en parallèle.

Comme M. Thury, nous disposerons une ligne unique à deux fils comprenant, montées en série, des machines génératrices et réceptrices que nous ferons parcourir par un courant d'intensité constante.

Génération du courant. — On peut compounder un alternateur à intensité constante, mais le même résultat peut être obtenu plus simplement, en lui donnant une grande réaction d'induit et en ne faisant pas varier son excitation. C'est ainsi qne les machines Gramme à bougies Jablochkoff donnaient 8 ampères par circuit en service normal, et seulement 10 ampères, lorsqu'on les fermait sur elles-mêmes.

Supposons qu'on emploie comme alternateur une de ces machines, et qu'il tourne, par exemple, avec la vitesse de 100 tours : minute.

Nous associerons en série, avec lui, des machines d'induction dont les circuits induits seront fermés sur des excitatrices semblables à celles que nous avons décrites dans une autre note présentée au congrès.

Elles seront conduites par des moteurs dont les régulateurs seront réglés, par exemple, pour la vitesse de 105 tours.

([1]) Sur le réseau de Berlin, on a constaté déjà la résonance de la 3e harmonique.



Leur rotation développera une force électromotrice qui tendra à augmenter l'intensité du courant.

Mais cette intensité ne pourra jamais atteindre 10 ampères, car la force électromotrice développée par l'alternateur deviendrait nulle et nous savons que : si l'action des machines d'induction peut rendre en apparence, aussi petite que l'on veut, l'impédance du circuit sur lequel travaille l'alternateur qui les gouverne, elle ne peut la rendre nulle.

Lorsque la charge du réseau augmentera, l'intensité du courant tendra à diminuer. Il faudra alors remettre une nouvelle machine d'induction en service, et réciproquement, si la charge diminue.

Si, par suite d'une rupture de conduite, le réseau venait à être déchargé, toutes les machines le seraient, mais leurs régulateurs les empêcheraient de s'emballer.

Si un court-circuit venait à se produire, l'intensité ne pourrait dépasser 10 ampères, comme nous venons de le voir. La vitesse des machines d'induction ne pourrait dépasser 105 tours, grâce à l'action de leurs régulateurs. L'alternateur fonctionnerait comme moteur et serait entraînée par elles, mais sa vitesse aurait aussi 105 tours pour limite.

En résumé, on n'aura qu'à mettre en route ou arrêter des machines, suivant les besoins de la consommation, sans leur faire subir aucun réglage. La conduite de l'installation sera donc aussi simple que possible.

Une négligence pourra faire tomber l'intensité au-dessous de 8 ampères, mais aucune négligence, ni aucun accident ne pourront lui faire dépasser 10 ampères. On ne saurait trouver des conditions de fonctionnement présentant plus de sécurité.

Fréquence a donner aux courants. — Du moment que l'on n'a pas à faire de l'éclairage direct et qu'on n'emploie pas de transformateurs, la fréquence des courants employés est indifférente.

Dans les machines à courant continu de grandes dimensions, la fréquence des variations de flux ne dépasse pas 8.

Rien ne nous empêcherait d'adopter la même fréquence. Or, avec des courants de fréquence 8, par exemple, les phénomènes occasionnés dans les lignes, par les variations de flux, tels que :

L'accroissement réel de la résistance des câbles en vertu de l'effet Thomson,

L'accroissement apparent de cette résistance dû à la self-induction de la ligne, deviennent négligeables.

Il est certain que les harmoniques qui pourraient entrer en résonance, si la ligne de transport était constituée par un câble armé, seraient d'un ordre tellement élevé que leur grandeur serait pratiquement nulle.

La force disruptive exercée sur les diélectriques serait, sans doute, du même ordre de grandeur que si l'on employait un courant continu ayant un voltage seulement $\sqrt{2}$ fois plus grand que le voltage efficace adopté.

Les difficultés d'isolation dues à l'emploi des courants alternatifs seraient alors fort diminuées,

Plus nous abaisserons la fréquence, plus nous diminuerons les inconvénients dus à l'emploi de courants alternatifs, tout en en conservant les avantages, puisque nous ne voulons qu'actionner directement des moteurs.

Utilisation des courants. — Quant aux récepteurs, on les constituera avec des machines d'induction munies des excitations spéciales que nous avons décrites dans la communication signalée plus haut, et qui leur permettront d'avoir un cos égal à 1.

Il faudra les lancer, mais cela ne présentera pas d'inconvénient, si ces machines font partie de transformateurs rotatifs et doivent conduire des machines à courant continu. On fera démarrer ces dernières au moyen d'une batterie d'accumulateurs.

On pourra d'ailleurs profiter de la faible valeur de la fréquence pour constituer des appareils à résonance électromécanique, capables de jouer le rôle de condensateur.

Ceux-ci permettraient de décomposer, sur place, le courant monophasé en courants polyphasés qui alimenteraient des moteurs à champ tournant, capables de démarrer sous charge.



On pourrait également se servir, dans le même but, des condensateurs électrolytiques qui ne valent rien avec des courants de fréquence élevée, mais fournissent de bons résultats, avec des courants de basse fréquence.

Enfin, s'il s'agissait de petits moteurs, rien n'empêcherait de se servir de moteurs à collecteur dont on réglerait la vitesse comme le fait M. Thury. La faiblesse de la fréquence rendrait la commutation facile.

Conclusion. — On peut faire un système de distribution en série, à intensité constante, avec un courant alternatif monophasé, aussi bien qu'avec un courant continu.

Il convient alors d'employer un courant de très basse fréquence.

L'abaissement de cette fréquence permet de rendre insensibles les défauts propres du courant alternatif, en laissant subsister ses avantages, qui consistent dans la suppression des organes de commutation et l'absence de tout réglage, aussi bien des génératrices que des réceptrices.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION

Division de la tension des dynamos à courant continu au moyen de bobines de self-induction. par **A. Sengel.** *Elektrotechnische Zeitschrift.* t. XXI, p. 387 et 410 17 et 24 mai, 1900.

Sur l'arbre d'une dynamo à courant continu, disposons des bagues au moyen desquelles nous prendrons du courant en un ou plusieurs points

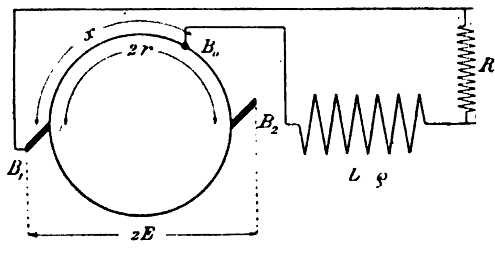


Fig. 1.

de l'induit. Suivant la position de ces points par rapport aux balais, le courant ainsi dérivé parcourra une portion plus ou moins grande de l'induit. Soit (fig. 1)

$$E_1 = E(1 - \cos mt)$$

la différence de potentiel entre l'un des balais B_1 et le point de dérivation B_0, en comptant le temps à partir du moment où B_0 est en B_1; m est la vitesse angulaire $\frac{2\pi n}{60}$. Si entre B_1 et B_0 nous mettons une résistance non inductive R, et si nous négligeons la résistance de l'induit, on obtient un courant

$$i_1 = \frac{E(1 - \cos mt)}{R + r'}$$

r' désignant la résistance variable de la portion d'induit comprise entre B_1 et B_0. Soit r la résistance de l'induit mesurée entre balais : chaque moitié a donc une résistance $2r$. La résistance r' se compose de deux parties en parallèle, l'une de résistance x, l'autre de résistance $4r - x$. Comme la force électromotrice des deux moitiés de l'induit a exactement la même valeur; la répartition du courant i_1 dans l'induit ne dépend que des résistances. Donc

$$r' = \frac{4rx - x^2}{4r} = r\left[\frac{2mt}{\pi} - \left(\frac{mt}{\pi}\right)^2\right] = rf(t)$$

x variant de 0 à $2r$, mt varie de 0 à 2π. La figure 2 représente les variations de r' en fonction du temps.

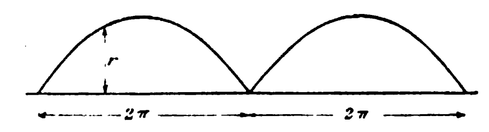


Fig. 2.

Si nous intercalons dans le circuit une bobine de self dont le coefficient de self-induction est L et la résistance ρ, nous ne pourrons pas obtenir la valeur de l'intensité par les formules

ordinaires du courant alternatif puisqu'ici la résistance est fonction du temps. Posons l'équation différentielle du courant :

$$E(1 - \cos mt) = i_1\left[R + \rho + rf(t) + L\,\frac{di_1}{dt}\right]$$

Dont la solution est

$$i_1 = e^{-F(t)}\int e^{F(t)}\,E\,(1 - \cos mt)\,dt + Ce^{-F(t)}$$

où l'on a

$$F(t) = \int \frac{R + \rho + rf(t)}{L}\,dt$$

La première intégrale n'est pas calculable en général et une détermination exacte de i_1 n'est pas possible. Comme r est petit vis-à-vis de R et que la self-induction de l'induit est relativement faible, nous supposerons :

1° Que L est constant ;

2° Que r' est indépendant de t et égal à sa valeur moyenne.

Nous obtenons ainsi

$$i_1 = \frac{E}{R + \rho + r'} - \frac{E}{\sqrt{(R + \rho + r')^2 + m^2L^2}}\cos(mt - \varphi)$$

avec

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{mL}{R + \rho + r'}$$

La valeur moyenne de r' pendant une période est égale à

$$r' = \frac{r}{2\pi}\int_0^{2\pi}\left(\frac{2\,mt}{\pi} - \frac{m^2t^2}{\pi^2}\right)d(mt) = \frac{2}{3}\,r$$

Donc

$$i_1 = \frac{E}{R + \rho + 0{,}67\,r} - \frac{E}{\sqrt{(R + \rho + 0{,}67\,r)^2 + m^2L^2}}\cos(mt - \varphi)$$

Le courant ainsi produit se décompose en un courant continu et un courant alternatif. Le courant réel ne diffèrera du courant obtenu par le calcul qu'en ce sens que la variation de r' entraîne pour le terme alternatif une altération de la forme sinusoïdale : cela a d'autant moins d'importance que la forme sinusoïdale n'est presque jamais réalisée.

Supposons qu'on réalise le dispositif précédent suivant le schéma de la figure 3. Soient i_1 et i_2 les intensités des 2 conducteurs extrêmes, i_0 l'intensité du conducteur du milieu. On a

$$i_0 = i_1 - i_2$$

Soient i_a i_b i_c les intensités dans les trois par-

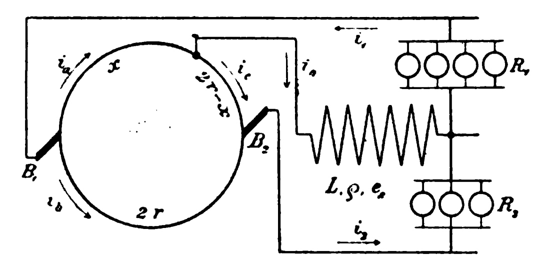


Fig. 3.

ties de l'induit, e_s la force contre-électromotrice induite dans la bobine et ayant la forme

$$e_s = X\sin(mt) - \varphi)$$

Des égalités

$$i_1 = i_a + i_b \qquad i_2 = i_b + i_c$$
$$x\,i_a + (2r - x)\,i_c = 2r.\,i_b$$

on tire

$$i_a = \frac{2r\,i_1 + (2r - x)\,(i_1 - i_2)}{4r}$$

$$i_b = \frac{2r\,i_2 + x\,(i_1 - i_2)}{4r}$$

$$i_c = \frac{2r\,i_2 - x\,(i_1 - i_2)}{4r}$$

Nous calculerons i_1 et i_2 par les formules

$$i_1\,R_1 = E\,(1 - \cos mt) - e_s - (i_1 - i_2)\,\rho - x\,i_a$$
$$i_2\,R_2 = E\,(1 + \cos mt) + e_s + (i_1 - i_2)\,\rho - (2r - x)\,i_c$$

En définitive, nous aurons

$$i_1 = E\,\frac{(b + c}{ab - c^2} - E\,\frac{b - c}{ab - c^2}\,\frac{\cos(mt - \varphi)}{\sqrt{1 + m^2L^2d^2}}$$

$$i_2 = E\,\frac{a + c}{ab - c^2} + E\,\frac{a - c}{ab - c^2}\,\frac{\cos(mt - \varphi)}{\sqrt{1 + m^2L^2d^2}}$$

$$i_0 = E\,\frac{b - a}{ab - c^2} - E\,\frac{a + b - 2c}{ab - c^2}\,\frac{\cos(mt - \varphi)}{\sqrt{1 + m^2L^2d^2}}$$

$$e_s = -E\,\frac{mL\,d}{\sqrt{1 + m^2L^2d^2}}\sin(mt - \varphi)$$

$$\operatorname{tg}\varphi = -mLd$$

Dans les égalités précédentes, nous avons posé

$$a = R_1 + \rho + x - \frac{x^2}{4r}$$

$$b = R_2 + \rho + x - \frac{x^2}{4r}$$

$$c = \rho + \frac{x}{2} - \frac{x^2}{4^2}$$

$$d = \frac{a + b - c}{ab - c^2}$$

Nous avons ensuite à calculer les valeurs moyennes des expressions telles que

$$\frac{b + c}{ab - c^2}$$

c'est-à-dire à évaluer l'intégrale

$$\frac{1}{2r}\int_0^{2r} \frac{b + c}{ab - c^2}\,dx$$

Au lieu de décomposer en éléments simples, ce qui conduirait à des expressions logarithmiques peu commodes, nous développerons la fonction sous le signe $\int$ en une série ordonnée suivant les puissances croissantes de x.

Intégrant et négligeant les valeurs r^2, ρ^2, $r\rho$ vis-à-vis de $R_1\, R_2$, on a

$$\frac{R_2 + 2\rho + 0{,}83\, r}{R_1\, R_2 + (R_1 + R_2)(\rho + 0{,}67\, r)}$$

Désignons le dénominateur par D, nous trouvons ainsi

$$i_1 = E\,\frac{R_2 + 2\rho + 0{,}83\, r}{D} - E\,\frac{R_2 + 0{,}5\, r}{\sqrt{D^2 + m^2 L^2 (R_1 + R_2 + r)^2}} \cos(mt - \varphi)$$

$$i_2 = E\,\frac{R_1 + 2\rho + 0{,}83\, r}{D} + E\,\frac{R_1 + 0{,}5\, r}{\sqrt{D^2 + m^2 L^2 (R_1 + R_2 + r)^2}} \cos(mt - \varphi)$$

$$i_0 = E\,\frac{R_2 - R_1}{D} - E\,\frac{R_1 + R_2 + r}{\sqrt{D^2 + m^2 L^2 (R_1 + R_2 + r)^2}} \cos(mt - \varphi)$$

$$e_s = - E m L\,\frac{R_1 + R_2 + r}{\sqrt{D^2 + m^2 L^2 (R_1 + R_2 + r)^2}} \sin(mt - \varphi)$$

On voit que les courants $i_1\ i_2\ i_0$ sont la résultante d'un courant continu et d'un courant alternatif. L'intensité de ce dernier est principalement déterminée par la valeur de L. Plus L est grand et plus le terme alternatif est faible.

Le terme continu croît avec la charge, c'est-à-dire en raison de R_1 et R_2, tandis que le terme alternatif croît beaucoup plus lentement. Donc à fortes charges, les pulsations du courant diminuent et, si nous mettons en série un instrument de mesure à aimant permanent et un instrument qui donne les valeurs effectives, les différences entre les indications des deux instruments diminuent quand la charge augmente.

Pour le cas particulier $R_1 = R_2 = R$, i_0 est un courant alternatif simple dont l'intensité effective est

$$\frac{E}{\sqrt{2}}\,\frac{1}{\sqrt{\left[\frac{R^2 + 2R(\rho + 0{,}67\, r)}{2R + r}\right]^2 + m^2 L^2}}$$

Si la résistance R diminue au point que le terme entre crochets disparaisse devant $m^2 L^2$, nous obtenons la valeur maxima de i_0.

$$\frac{E}{\sqrt{2}\, mL}$$

(intensité à vide de la bobine pour la tension $\frac{E}{\sqrt{2}}$ à ses bornes.)

On voit que $\frac{E}{\sqrt{2}}$ est la plus grande valeur de la tension aux bornes de la bobine : c'est la moitié de la tension alternative que l'on peut prendre sur un induit à courant continu.

Les différences entre les voltages des deux circuits pour des charges inégales ne nous intéressent que par leurs valeurs moyennes. Pour les calculs, nous poserons d'une manière abrégée.

$$i_1 = i_1' - i_1'' \cos(mt - \varphi)$$
$$i_2 = i_2' - i_2'' \cos(mt - \varphi)$$

On peut en déduire les valeurs instantanées des courants $i_a\ i_b\ i_c$.

Les pertes de tension correspondant à i_c et i_a sont, comme le montre la figure 3.

$$\varepsilon_a = x \,.\, i_a$$
$$\varepsilon_c = (2r - x)\, i_c$$

La différence de voltage des 2 réseaux $e_2 - e_1$ est egale à la différence $\varepsilon_a - \varepsilon_c$ augmentée du double de la perte de tension dans la bobine

$$e_2 - e_1 = x\, i_a - (2r - x)\, i_c + 2\rho\,(i_1 - i_2)$$

Calculant la valeur moyenne de cette quantité pendant une période, on trouve

$$e_2 - e_1 = (2\rho + 0{,}833\, r)(i_1' - i_2') + 0{,}101\, r\,(i_1'' - i_2'') \cos\varphi$$

Cette valeur est indépendante de l'intensité des courants alternatifs qui circulent dans les conducteurs extérieurs ainsi que de leur décalage. Si on peut négliger les termes alternatifs vis à vis des termes continus, on trouve

$$e_2 - e_1 = (2\rho + 0{,}833\,r)\,(i'_1 - i'_2) = (2\rho + 0{,}833\,r)\,(i_1 - i_2)$$

Dans le dispositif à deux bobines, une seconde bobine est branchée en un point diamétralement opposé au premier; l'autre extrémité de cette bobine est également reliée au conducteur central (fig. 4). Les courants alternatifs des deux bobines sont donc décalés de 180° et ont un effet nul sur le circuit extérieur; les courants parcourant les trois conducteurs sont donc purement continus. Comme la résistance du circuit formé par les deux bobines et l'induit est invariable, le courant alternatif qui traverse les bobines dépend beaucoup moins de la charge que dans le dispositif à une bobine, et n'influe que très peu sur les mesures. Pour déterminer la valeur moyenne de la différence de voltage des deux réseaux, nous supposerons que la self-induction des deux bobines est si grande qu'elle s'oppose à toute variation des intensités et que, par suite, les courants qui traversent les bobines sont purement continus et ont pour valeur

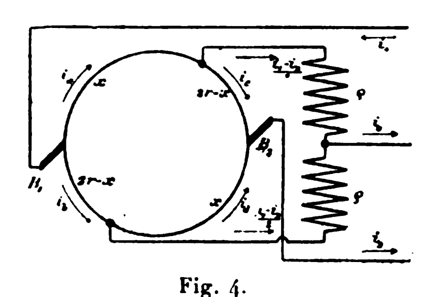


Fig. 4.

$$\frac{i_1 - i_2}{2}$$

Des égalités suivantes

$$i_1 = i_a + i_b$$
$$i_2 = i_c + i_d$$
$$i_a - i_c = i_b - i_d = \frac{i_1 - i_2}{2}$$
$$x\,i_a + (2r - x)\,i_c = (2r - x)\,i_b + x\,i_d$$

nous déduisons les valeurs de i_a i_b i_c i_d et par suite les valeurs instantanées des pertes de tension dans l'induit

$$\varepsilon_a = x\,i_a$$
$$\varepsilon_b = (2r - x)\,i_b$$
$$\varepsilon_c = (2r - x)\,i_c$$
$$\varepsilon_d = x\,i_d$$

Les valeurs moyennes des pertes de tension dans l'induit correspondant aux courants i_1 et i_2 sont

$$\varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_a + \varepsilon_b}{2}$$
$$\varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_c + \varepsilon_d}{2}$$

donc

$$e_2 - e_1 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 + 2\rho\,\frac{i_1 - i_2}{2} = \frac{\varepsilon_a + \varepsilon_b - \varepsilon_c - \varepsilon_d}{2} + \rho\,(i_1 - i_2)$$

$$e_2 - e_1 = \left(\rho + x - \frac{x^2}{2r}\right)^2 (i_1 - i_2)$$

Si on prend la valeur moyenne entre $x = 0$ et $x = 2r$, on obtient comme différence de tension entre les deux moitiés du réseau pour le système à deux bobines

$$e_2 - e_1 = (\rho + 0{,}33\,r)\,(i_1 - i_2$$

Dans le système à trois bobines (fig. 5), trois

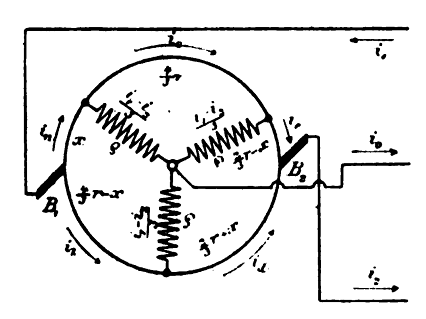


Fig. 5.

bobines sontconnectées entrois points de l'induit à 120° l'un de l'autre; les trois autres extrémités sont réunies et servent de point de départ pour le conducteur du milieu. Les courants qui passent dans les trois bobines sont triphasés et leur somme est nulle. Donc le courant qui traverse le conducteur du milieu est encore ici continu. En faisant les mêmes hypothèses que précédemment, ont voit que les courants des bobines ont la valeur

$$\frac{i_1 - i_2}{3}$$

Pour calculer les courants $i_a \dots i_e$ et les pertes de tension dans les diverses sections $\Sigma_a \dots \Sigma_e$, nous poserons

$$i_1 = i_a + i_b$$
$$i_2 = i_d + i_c$$
$$i_b - i_d = i_a - i_e = i_c - i_e = \frac{i_1 - i_2}{3}$$
$$x\, i_a + \frac{4}{3} r\, i_c + \left(\frac{2}{3} r - x\right) i_e = \left(\frac{4}{3} r - x\right) i_b + \left(\frac{2}{3} r + x\right) i_d$$

On en déduit

$$\varepsilon_a = \frac{x}{6}(4 i_1 - i_2) - \frac{x^2}{4r}(i_1 - i_2)$$
$$\varepsilon_b = \frac{2}{9} r (2 i_1 + i_2) - \frac{1}{4} x i_2 - \frac{x^2}{4r}(i_1 - i_2)$$
$$\varepsilon_c = \frac{2}{9} r (2 i_1 + i_2) - \frac{x}{3}(i_1 - i_2)$$
$$\varepsilon_d = \frac{r}{3} i_2 + \frac{x}{6}(i_1 + 2 i_2) + \frac{x^2}{4r}(i_1 - i_2)$$
$$\varepsilon_e = \frac{r}{3} i_2 - \frac{x}{6}(i_1 + 2 i_2) + \frac{x^2}{4r}(i_1 - i_2)$$

La perte de tension moyenne dans l'induit pour l'intensité i_1 est

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{3}(\varepsilon_a + \varepsilon_b + \varepsilon_c + \varepsilon_d)$$

et pour l'intensité i_2

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{3}(\varepsilon_c + \varepsilon_e + \varepsilon_d + \varepsilon_e)$$

Or

$$e_2 - e_1 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 + 2\frac{i_1 - i_2}{3}\rho$$

Si on remplace les termes par leur valeur et si on prend la moyenne entre $x = 0$ et $x = \frac{2}{3} r$, on trouve

$$e_2 - e_1 = (0{,}241\, r + 0{,}667\, \rho)(i_1 - i_2)$$

D'après tout ce qui précède, on voit que la différence entre les voltages des deux réseaux décroît quand le nombre de bobines croît. Comme ce nombre n'est pas limité, il est intéressant de voir comment la différence des voltages en dépend. Nous considèrerons donc le cas général où n bobines de self-induction sont branchées en n points équidistants de l'induit (fig. 6). Si on suppose n pair, les deux moitiés de l'induit sont symétriques ; de sorte que nous n'avons à en considérer qu'une seule. Chaque bobine sera parcourue par un courant

$$\frac{i_1 - i_2}{n}$$

soient

$$i_a \quad i_b \quad i_c \quad \dots \quad i_k$$

les courants des diverses sections de l'induit. La

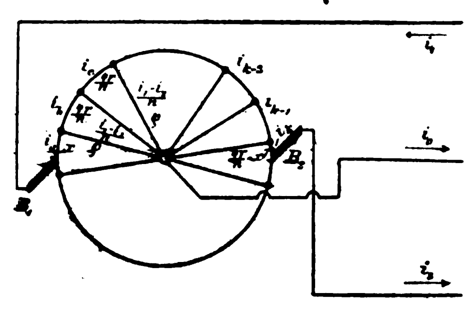


Fig. 6.

différence entre les intensités de deux sections consécutives est

$$\frac{i_1 - i_2}{n}$$

Si donc l'induit tourne de $\frac{2\pi}{n}$ chacun des courants de l'induit diminuera de $\frac{i_1 - i_2}{n}$. Comme ces variations sont proportionnelles au chemin parcouru et comme les valeurs moyennes des courants sont $\frac{i_1}{2}$ ou $\frac{i_2}{2}$, on a les égalités

$$i_a = \frac{i_1}{2} + \frac{1}{2}\frac{i_1 - i_2}{n} - \frac{x}{2r}\frac{i_1 - i_2}{2}$$
$$i_b = \frac{i_1}{2} - \frac{1}{2}\frac{i_1 - i_2}{n} - \frac{x}{2r}\frac{i_1 - i_2}{2}$$
$$\dots\dots\dots\dots\dots$$
$$i_{k-1} = \frac{i_2}{2} + \frac{3}{2}\frac{i_1 - i_2}{n} - \frac{x}{2r}\frac{i_1 - i_2}{2}$$
$$i_k = \frac{i_2}{2} + \frac{1}{2}\frac{i_1 - i_2}{n} - \frac{x}{2r}\frac{i_1 - i_2}{2}$$

Les pertes de tension sont

$$\varepsilon_a = x\left(\frac{i_1}{2} + \frac{1}{2}\frac{i_1 - i_2}{n}\right) - \frac{x^2}{2r}(i_1 - i_2)$$
$$\varepsilon_b = \frac{4r}{n}\left(\frac{i_1}{2} - \frac{1}{2}\frac{i_1 - i_2}{n}\right) - \frac{x}{n}(i_1 - i_2)$$
$$\dots\dots\dots\dots\dots$$

$$\varepsilon_{k-1} = \frac{4r}{n}\left(\frac{i_2}{2}+\frac{3}{2}\,\frac{i_1-i_2}{n}\right) - \frac{x}{n}\,(i_1-i_2)$$

$$\varepsilon_k = \frac{4r}{n}\left(\frac{i_2}{2}+\frac{1}{2}\,\frac{i_1-i_2}{n}\right) - x\left(\frac{i_2}{2}+\frac{3}{2}\,\frac{i_1-i_2}{n}\right) + \frac{x^2}{2r}\,\frac{i_1-i_2}{2}$$

Les pertes de tension moyenne pour le courant i_1 est

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{\frac{n}{2}}\,[\varepsilon_a+\varepsilon_b+\varepsilon_c+\ldots\ldots+\varepsilon_{k-1}+\varepsilon_a+\varepsilon_b+\ldots\ldots+\varepsilon_{k-2}+\ldots\ldots+\varepsilon_a+\varepsilon_b+\varepsilon_a]$$

De même pour i_2

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{\frac{n}{2}}\,[\varepsilon_b+\varepsilon_c+\ldots\ldots+\varepsilon_{k-2}+\varepsilon_{k-1}+\varepsilon_k+\varepsilon_c+\ldots\ldots+\varepsilon_{k-1}+\varepsilon_k+\ldots\ldots+\varepsilon_{k-1}+\varepsilon_k+\varepsilon_k]$$

Donc

$$\varepsilon_1-\varepsilon_2 = \frac{2}{n}\left[\frac{n}{2}\,(\varepsilon_a-\varepsilon_k) + \left(\frac{n}{2}-2\right)(\varepsilon_b-\varepsilon_{k-1}) + \ldots\ldots\right]$$

En remplaçant les termes par leurs valeurs et en formant la moyenne depuis $x=0$ jusqu'à $x=\frac{4r}{n}$, on obtient

$$\varepsilon_1-\varepsilon_2 = r\left[0{,}167+\frac{0{,}667}{n}\right](i_1-i_2)$$

d'où l'on déduit

$$e_1-e_2 = r\left[0{,}167+\frac{0{,}667}{n^2}\right](i_1-i_2) + 2\rho\,\frac{i_1-i_2}{n}$$

Cette dernière égalité montre que, si l'on augmente indéfiniment le nombre des bobines, la valeur de $e_1 - e_2$ tend vers la limite

$$0{,}167\,r\,(i_1-i_2)$$

On peut arriver au même résultat d'une façon plus simple. Si n est infini, on peut considérer chaque moitié de l'induit comme un conducteur qui a des pertes uniformémeut réparties, de valeur totale

$$\frac{i_1-i_2}{2}$$

Comme le montre la figure 7, la répartition du courant est représentée par une droite d'équation

$$i = \frac{i_1}{2} - \frac{x}{2r}\,\frac{i_1-i_2}{2}$$

Fig. 7.

En chaque point de l'induit, la perte de tension a pour valeur

$$\varepsilon_1 = \int\left(\frac{i_1}{2}-\frac{x}{2r}\,\frac{i_1-i_2}{2}\right)dx = \frac{x}{2}\,i_1 - \frac{x^2}{8r}\,(i_1-i_2)$$

De même pour le balai B_2 on a

$$i = \frac{i_2}{2} + \frac{x}{2r}\,\frac{i_1-i_2}{2}$$

$$\varepsilon = \frac{x}{2}\,i_2 + \frac{x^2}{8r}\,(i_1-i_2)$$

La moyenne des deux pertes de tension dans l'induit est

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{2r}\int_0^{2r}\left[\frac{x}{2}\,i_1 - \frac{x^2}{8r}\,(i_1-i_2)\right]dx = \frac{r}{6}\,(2i_1+i_2)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{r}{6}\,(2i_2-i_1)$$

$$\varepsilon_1-\varepsilon_2 = 0{,}167\,r\,(i_1+i_2)$$

ce qui coïncide avec la formule précédente.

Résultats d'essais. — Pour vérifier la concordance de la théorie précédente avec la pratique, on s'est servi d'une dynamo Lahmeyer de 10 kilowatts munie de 4 bagues de contact qui permettent de recueillir du courant monophasé ou triphasé ; ces bagues sont reliées avec un transformateur triphasé de 8,5 kilowatts. La tension continue est de 500 volts, la tension alternative de 375 volts ; mais aux essais on a adopté 100 volts seulement dans chaque champ. On voit par là que la résistance de la dynamo et du transformateur sont très grandes eu égard à la tension d'essai ; par suite, les inégalités de charge fournissaient des différences de tensions beaucoup plus grandes qu'en pratique, mais néces-

saires à la précision des mesures. La fréquence était de 35.

La figure 8 indique le schéma du montage.

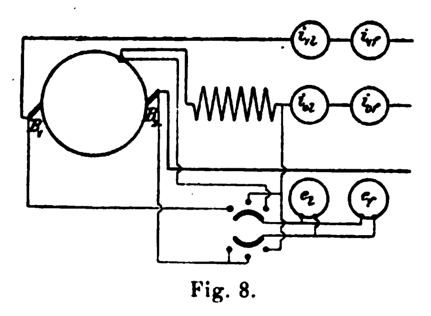


Fig. 8.

L'intensité était mesurée dans l'un des conducteurs externes et dans le conducteur central au moyen d'un ampèremètre Weston et d'un ampèremètre thermique ; les tensions étaient mesurées avec un voltmètre Weston et un électrodynamomètre. Les instruments sont désignés par i_{1l}, i_{1f}, i_{0l}, i_{0f}, e_l, e_f. La résistance de l'induit était de 0,870 ohm et celle de la bobine de self (l'un des noyaux primaires du transformateur) de 0,185 ohm.

Pour déterminer comment le courant alternatif du conducteur central et la tension alternative aux bornes de la bobine dépendent de la charge, on commença par faire une série d'essais avec même charge sur les 2 circuits. Les résultats en sont consignés dans le tableau I. Les courbes de la figure 9 donnent i_{0f}, e_s et $e_{(1,2)f}$ en fonction de la charge extérieure $i_{(1,2)e}$.

TABLEAU I

$i_{1l} = i_{2l}$	$i_{1f} = i_{2f}$	$e_{1l} = e_{2l}$	$e_{1f} = e_{2f}$	i_{0l}	i_{0f}	e_s
Ampères.		Volts.		Ampères.		Volts.
0	0	100	123	0	0	0
0,45	0,60	100	117,5	0	0,56	19,3
0,95	1,05	100	110,3	0	0,86	39
2,1	2,15	100	103,7	0	1,14	55,8
4,1	4,1	100	101,1	0	1,25	64
6,3	6,2	100	100,5	0	1,27	66,5
9,85	9,9	100	100,3	0	1,30	69,2
16,75	16,8	100	100,2	0	1,32	71,8

Comme on l'a déjà vu les 3 grandeurs i_{0f}, e_s, $e_{(1,2)f}$ tendent vers certaines limites quand la charge augmente, la valeur effective de la tension du réseau tend vers sa valeur moyenne, maintenue constamment égale à 100 volts, la tension alternative aux bornes de la bobine tend vers la valeur

$$\frac{100}{\sqrt{2}} = 70,7 \text{ volts}$$

(cette limite a été dépassée, ce qui prouve que

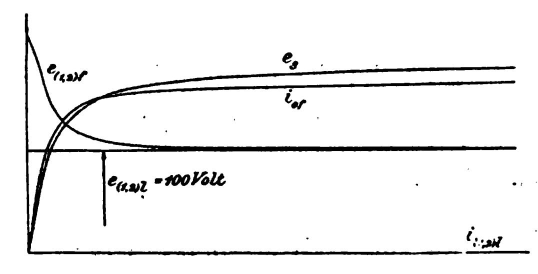


Fig. 9.

la charge et le décalage ont déformé le courant alternatif) ; enfin l'intensité i_{0f} tend vers la valeur du courant à vide correspondant à la valeur limite de la tension.

Plus les différences entre les valeurs moyennes et effectives diminuent, plus les pulsations qui se produisent diminuent. La division de la tension peut donc être utilisée pour l'éclairage aussitôt que des lampes à incandescence mises en circuit cessent de donner un éclairage intermittent.

Soit un courant pulsatoire i ; supposons qu'il soit la somme d'un courant continu i' et d'un courant alternatif d'amplitude i''. La valeur instantanée est

$$i = i' + i'' \sin mt$$

La valeur moyenne du courant pulsatoire est égale au terme continu : $i_e = i'$.

La valeur effective est de

$$i_f = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}(i' + i'' \sin mt)^2\, dt} = \sqrt{i'^2 + \frac{1}{2}\, i''^2}$$

De même la valeur effective d'une force électromotrice pulsatoire est

$$e_f = \sqrt{e'^2 + \frac{1}{2}\, e''^2}$$

Pour la première valeur observée avec charge nulle, nous devons obtenir une valeur effective

de la tension égale à

$$\sqrt{100^2 + \frac{1}{2}\ 100^2} = 122{,}5 \text{ volts}$$

valeur qui se rapproche bien de la valeur observée 123 volts.

Le tableau II donne les résultats d'essais à charges inégales. Les différences entre les valeurs moyennes et effectives des intensités sont plus grandes qu'au premier essai, ce qui tient à l'induction plus élevée du noyau de la bobine. Dans les 2 dernières colonnes, on a mis les différences observées et calculées entre les valeurs moyennes et effectives des tensions des 2 champs. La résistance qui entre dans ce calcul est

$$0{,}833 .\ 0{,}870 + 2 .\ 0{,}185 = 1{,}095 \text{ ohms}$$

Donc

$$(e_{2l} - e_{1l})_{\text{calculé}} = 1{,}095\ i_{ol}$$

La concordance n'est pas parfaite entre le calcul et l'observation. Ceci est facile à expliquer. Les essais montrent en effet que les termes alternatifs ne sont pas négligeables.

Calculons par exemple d'après l'avant-dernière observation la valeur de l'amplitude i_1''

$$\sqrt{2\,(19{,}6^2 - 18{,}1)^2} = 10{,}7 \text{ ampères}$$

Si nous portons cette valeur dans le second membre de l'équation qui donne $e_2 - e_1$, en supposant $\cos\varphi = 1$, nous trouvons une différence de tension de 0,94 volt contre 2,6 volts observés. Cette différence doit être attribuée à ce fait que la saturation du noyau altère la forme sinusoïdale du courant. D'autre part, lorsque la charge totale augmente, l'influence des termes alternatifs sur la différence des tensions diminue, ce qui s'explique de la façon suivante : comme le montrent les équations et les tableaux I et II, le courant alternatif qui parcourt le conducteur central, $i_1'' + i_2''$, varie très peu, à partir d'une certaine valeur. Ce courant se répartit dans les conducteurs externes dans le rapport des charges des 2 champs. Donc lorsque la charge totale augmente, la valeur $i_1'' - i_2''$ diminue et la concordance entre le calcul et l'observation devient plus exacte.

TABLEAU II

i_{1l}	i_{1f}	e_{1l}	e_{1f}	e_{2l}	e_{2f}	i_{ol}	i_{of}	e_s	$e_{2l} - e_{1l}$ Observé.	Calculé.
10,3	11,1	95,1	102,5	107,3	115,2	10,3	11,1	47,5	12,1	11,3
17,4	17,8	95,4	97,7	107	109,4	10,2	11,5	63,4	11,6	11,2
19,4	19,7	96	98	107,6	109,4	10,2	11,7	65,5	11,6	11,2
15,2	16,3	94,8	104,8	113,1	122,5	15,2	16,3	45,5	18,3	16,6
22,2	23,1	95	101,2	112,9	117,3	15,2	17,3	60	17,9	16,6
18,1	19,5	93	103,4	115,4	125	18,1	19,7	44,5	22,4	19,8
24,9	26	92,9	99,6	114,3	119,6	18,1	20,5	58,8	21,4	19,8

Une deuxième série d'essais a été faite avec le même montage, mais avec une bobine de plus grande self-induction. A cet effet, on mettait en série 2 des noyaux du transformateur, ce qui augmentait le coefficient de self-induction du double jusqu'au quadruple. La résistance de la bobine était de 0,450 ohm. Donc

$$(e_{2l} - e_{1l})_{\text{calculé}} = 1{,}425\ i_{ol}$$

Si l'on a insisté sur les expériences avec une bobine, c'est parce que ces expériences donnent une confirmation intéressante de la théorie ; mais ce montage ne peut être employé pour l'éclairage à cause de la grandeur des différences entre les voltages des deux ponts.

Les essais avec 2 et 3 bobines ont été réalisés suivant les montages des figures 10 et 11. Dans les conducteurs extrêmes et moyen, il n'y avait qu'un ampèremètre continu Weston ; les tensions des 2 points étaient relevées au voltmètre continu ; par contre, l'intensité des courants pris directement sur l'induit était mesurée avec un ampèremètre continu et un ampèremètre thermique. Des commutateurs permettaient d'insérer ces ampèremètres successivement dans chacun des circuits, pendant que des résistances étaient intercalées dans les autres, afin de maintenir

l'intensité constante. Les résistances des bobines, rendues égales, étaient de $\rho = 0{,}245$ ohms pour

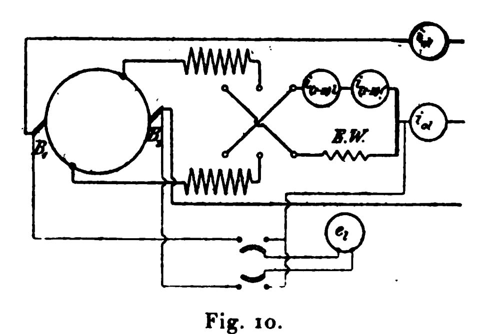


Fig. 10.

le montage à 2 bobines et de $\rho = 0{,}255$ ohms pour celui à 3 bobines (ces chiffres comprennent les résistances des instruments de mesure et des connexions).

La différence de tensions pour le montage à 2 bobines était de

$$(e_{2l} - e_{1l})_{\text{calculé}} = (0{,}333 .\ 0{,}870 + 0{,}245)\, i_{oZ} = 0{,}535\, i_{oZ}$$

et pour le montage à 3 bobines

$$(e_{2l} - e_{1l})_{\text{calculé}} = \left(0{,}241 .\ 0{,}870 + \frac{2}{3} .\ 0{,}255\right) i_{ol} = \\ = 0{,}380\, i_{ol}$$

Les valeurs observées et calculées sont consignées dans les tableaux III et IV.

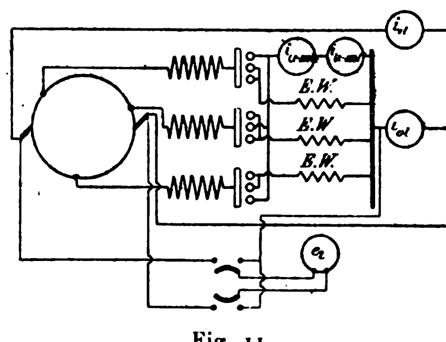


Fig. 11.

On peut faire les mêmes remarques que précédemment. Les différences entre l'observation

TABLEAU III

i_{1l}	e_{1l}	e_{2l}	i_{1l}	i_{1f}	i_{IIl}	i_{IIf}	i_{ol}	$e_{2l} = e_{1l}$ Observé.	Calculé.
6	97,9	101,1	3	3,1	3	3,1	6	3,2	3,21
12,6	97,1	100,2	3	3,1	3	3,1	6	3,1	3,21
20,3	97,2	100,2	3	3,1	3	3,1	6	3	3,21
25	97,2	100,1	3	3,1	3	3,1	6	2,9	3,21
10,1	97,4	102,9	5	5,2	5	5,2	10	5,5	5,35
16,7	96,7	102	5	5,2	5	5,2	10	5,3	5,35
23	97,8	103	5	5,2	5	5,2	10	5,2	5,35
15,1	97	105,2	7,5	7,8	7,5	7,8	15	8,2	8,02
21,8	96,3	104,6	7,5	7,8	7,5	7,8	15	8,3	8,02
28,2	96,1	104,2	7,5	7,8	7,5	7,8	15	8,1	8;02
20,2	94,8	106	10,1	10,3	10,1	10,3	20,2	11,2	10,80
27	95	106,1	10,1	10,3	10,1	10,3	20,2	11,1	10,80

TABLEAU IV

i_{1l}	e_{1l}	e_{2l}	i_{1l}	i_{1f}	i_{IIl}	i_{IIf}	i_{IIIl}	i_{IIIf}	i_{ol}	$e_{2l} - e_{1l}$ Observé.	Calculé.
6,2	98,8	101,8	2,2	2,3	2	2,1	2,1	2,2	6,2	3	2,35
18,6	98,4	101,2	2,2	2,3	1	2,1	2,1	2,2	6,2	2,8	2,35
10,2	97,8	102,1	3,4	3,6	3,2	3,3	3,3	3,5	10,1	4,3	3,84
23	98,2	102,6	3,4	3,6	3,2	3,3	3,3	3,5	10,1	4,4	3,84
15,3	97,2	103,9	5,1	5,3	4,9	5	5	5,2	15,3	6,7	5,75
27,9	96,1	102,4	5,1	5,3	4,9	5	5	5,2	15,3	6,3	5,75
26,8	96	1c4,2	6,8	7,9	6,5	6,6	6,6	6,7	20,3	8,2	7,72

et le calcul sont très petites et on peut se borner aux formules approchées, surtout si l'on remarque que la puissance consommée par les bobines est bien moindre que précédemment et que par suite le courant à vide est plus petit par rapport au courant continu. Malgré cela, si on emploie simultanément un ampèremètre continu et un ampèremètre thermique dans le conducteur central, et si on règle les charges de façon qu'elles soient égales, les indications des 2 instruments pourront être différentes. Dans le montage à 2 bobines, ce courant alternatif est dû à une certaine dissymétrie de la machine ou des bobines, de plus, dans le montage à 3 bobines, les 3 courants alternatifs ne s'annulent pas entièrement à cause de leur écart de la forme sinusoïdal ; en outre, les 3 prises de courant n'étant jamais symétriquement placées par rapport aux 3 balais, il y a de petits déplacements périodiques du point neutre dùs à la perte de tension dans l'induit.

Mais ce courant alternatif du conducteur central est si petit qu'il n'a aucune influence sur les conducteurs externes et que la lumière des lampes ne subit aucune oscillation.

E. B.

Excitation combinée de champs magnétiques par courants continu et alternatif.
Elektrotechnische Rundschau, t. XVI, p. 228.

La E. A. G. Helios de Köln-Ehrenfeld a construit une dynamo qui réunit les deux modes d'excitation du champ par courant continu et courant alternatif et peut fournir simultanément ces deux espèces de courants ou être actionnée comme moteur par ces courants simultanément ou bien agir comme moteur-générateur et transformer l'un des courants en l'autre espèce .Les machines de ce type sont déjà bien nombreuses et ce n'est qu'un nouvel exemple que nous enregistrons ici.

L'inducteur F (fig. 1) est formé de deux groupes de bobines ; les unes, de s_1 à s_8, sont montées avec pôles de même nom en regard et constituent un champ tétrapolaire, excité dans l'exemple choisi par le courant alternatif simple C*a* qui provient du transformateur T de sorte que le champ est alternatif ; les autres bobines (s_9 à s_{20}) sont disposées au contraire de manière à ne former qu'un champ bipolaire NS, elles sont parcourues par le courant C*e* de la batterie B*e*, le champ résultant est donc fixe.

Les deux champs ont un nombre de pôles différent, les forces électromotrices induites respectivement par leurs enroulements se compensent de sorte que leur somme pour chaque groupe est nul. Il n'y a donc par suite aucune

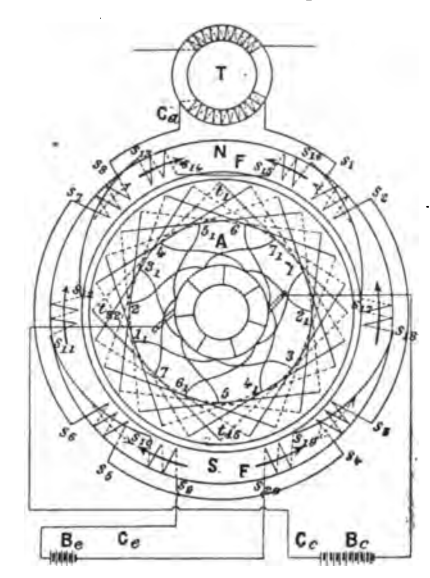


Fig. 1. — Dynamo Helios à excitation magnétique par courants alternatif et continu.

action inductrice des groupes de bobines l'un sur l'autre, quoiqu'ils aient une armature commune et que certaines parties des chemins de leurs lignes de force soient les mêmes. Cette disposition permet donc, en alimentant par des courants d'espèce différente les groupes de bobines ainsi montés, d'exciter dans une même armature simultanément deux champs magnétiques distincts.

On peut aussi produire avec le champ constant un champ tournant au lieu du champ alternatif précédent, en remplaçant le courant alternatif simple par des courants polyphasés. L'excitation différente par courant continu et par courant alternatif peut naturellement être obtenue successivement, au lieu de l'être simultanément par une simple commutation. La figure 2 donne le schéma de cette dernière disposition : les bobines peuvent être prises dans une seule serie de S_1 à S_8 et reliées à une source de courant continu B, créant ainsi un champ bipolaire, ou bien être séparées en deux séries comprises entre S_{4-5} et S_{1-8} et alimentées par une

source alternative T donnant lieu à un champ tétrapolaire. L'une ou l'autre liaison peut être établie par la manœuvre du commutateur à trois bras.

L'excitation simultanée du champ inducteur

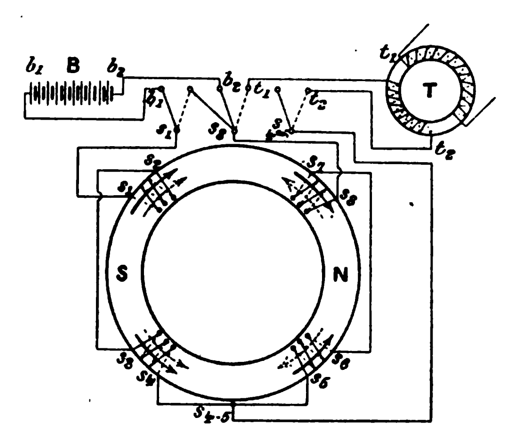


Fig. 2. — Excitation successive par courant alternatif et par courant continu.

par les deux espèces de courant peut aussi être obtenue au moyen d'un enroulement unique, les mêmes bobines étant disposées de façon à produire un nombre de pôles différent suivant le

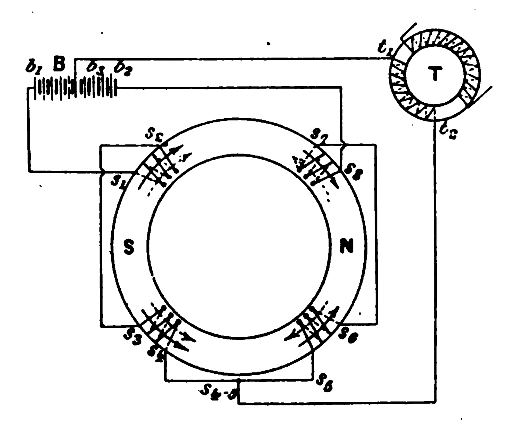


Fig. 3. — Excitation simultanée par enroulement unique.

courant excitateur. Ainsi dans la figure 3 les bobines de S_1 à S_8 sont réunies en série et reliées à la source de courant continu B, de façon à former un champ bipolaire NS, tandis que la source alternative T est reliée aux points du même potentiel du circuit précédent S_{4-5} et b_2. Le courant continu parcourt les bobines en série et crée un champ constant bipolaire, tandis que simultanément le courant alternatif qui n'est pas influencé par le courant continu, parcourt l'inducteur en deux séries parallèles et excite un champ alternatif tétrapolaire.

L'induit A [soit à tambour (fig. 1), soit à anneau] est muni d'un enroulement dont les bobines sont disposées en deux groupes distincts pour quatre et pour deux pôles. Dans la figure 1, les fils *t* sont reliés par groupe de quatre et forment un certain nombre d'enroulements à quatre fils court-circuités relativement au champ alternatif tétrapolaire.

D'autre part, les points au même potentiel relativement au champ tétrapolaire 1 et 1_1, 2 et 2_1 etc. sont reliés ensemble ou avec un circuit de fermeture de manière que le courant passant de 1 à 1_1, de 2 à 2_1, produise un champ induit bipolaire. On relie ensuite les points de même potentiel entre eux et avec les secteurs d'un collecteur ordinaire muni de balais ; on réalise ainsi un induit à courant continu qui produit du courant continu dans un champ bipolaire constant ou qui, alimenté par le courant continu, forme un champ induit bipolaire.

Si l'on excite par les deux enroulements l'armature de champ, l'un tétrapolaire avec courant alternatif, l'autre bipolaire avec courant continu, l'induit tournant peut réaliser ces deux cas simultanément ou alternativement. Il peut comme induit en court-circuit produire un moment de rotation et donner naissance à une force motrice, ou s'il est maintenu en rotation à une vitesse plus grande que la vitesse synchrone produire du courant alternatif dans l'enroulement de champ.

Mais il peut aussi, entre les balais, produire une force électromotrice continue et donner du courant continu ou si le courant continu est envoyé dans l'induit par les balais produire avec le champ constant de l'armature un moment de rotation. Ces deux effets peuvent se produire en même temps sans perturbation mutuelle et l'on peut régler chacun sans influencer l'autre.

Dans les exemples précédents, il a été question d'armature fixe et d'induit tournant ; mais on peut aussi utiliser la disposition inverse.

G.

MESURES

Méthode permettant de déterminer le travail dans un circuit alternatif au moyen d'un ampèremètre et d'un voltmètre, par **E. Reisz.** *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXI, p. 713, 23 août 1900.

Cette méthode est recommandable, si l'énergie

à mesurer est trop petite pour permettre l'emploi d'un wattmètre ordinaire, ou si l'on ne possède pas cet instrument.

Supposons que nous ayons à déterminer le travail dépensé dans l'appareil DE, (fig. 1).

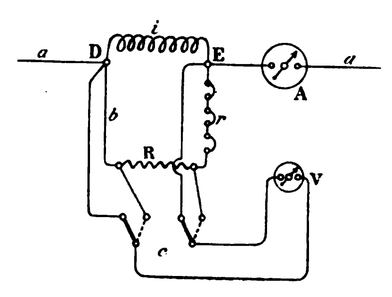


Fig. 1.

Désignons par e la tension constante aux bornes de DE, par a, b, i, les intensités dans les différents circuits. Soient A, l'ampèremètre, V, le voltmètre, R, la résistance non inductive servant à la détermination de l'intensité b par la lecture de la tension en V.

L'énergie consommée dans l'appareil est donnée par la relation :

$$W = ei \cos \varphi \qquad (1)$$

φ étant le décalage de i par rapport à e.

Plaçons en dérivation aux bornes de D E une résistance non inductive, les intensités de cou-

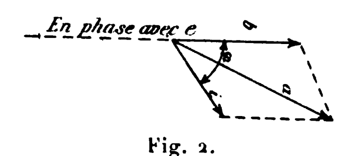


Fig. 2.

rant se composent suivant le diagramme (fig. 2) et fournissent l'équation :

$$a^2 = b^2 + i^2 + 2bi \cos \varphi. \qquad (2)$$

Afin de déterminer i, changeons la résistance r du circuit dérivé, soit en veillant à ce que la tension aux bornes de D E reste constaute au moyen du commutateur C.

r ayant varié, a et b prennent respectivement les valeurs a_1 et b_1, i reste constant.

On a :

$$a_1^2 = b_1^2 + i^2 + 2b_1 i \cos \varphi. \qquad (3)$$

d'où :

$$i^2 = \frac{b(a_1^2 - b_1^2) - b_1(a^2 - b^2)}{b - b_1} \qquad (4)$$

La valeur de i portée dans (2) ou (3), donne la grandeur du facteur de puissance cos φ.

a, a_1, b, b_1, sont mesurés par A et V, la tension entre D et E par le voltmètre V, on peut donc déterminer

$$W = ei \cos \varphi.$$

La résistance ρ et la self-induction L de l'appareil sont données par les relations suivantes :

$$\rho = \frac{e \cos \varphi}{i}$$

$$L = \frac{\rho}{\omega} \operatorname{tg} \varphi.$$

Cette méthode est excellente, lorsque le courant entre D E ne doit pas être interrompu, ou si l'insertion d'un instrument de mesure est peu commode (moteur).

Si l'on ne dispose que de deux voltmètres et pas d'ampèremètre, on peut intercaler dans le circuit principal une résistance non inductive, et déterminer a et a_1 par la mesure des tensions aux bornes.

La méthode donne une approximation très suffisante, et peut servir à faire des mesures qui n'étaient possibles qu'avec le wattmètre à miroir.

P. D.

Force électromotrice de l'élément Weston, par **E. Cohen**. *Drude's Ann.*, t. II, p. 863-865, août 1900, et par **W. Jæger** et **St. Lindeck**, *Ibid.*, t. III, p. 366-369, octobre 1900.

D'après M. Cohen, la table des valeurs de la force électromotrice de l'élément Weston donnée par M. Marek ne peut servir au-dessous de + 15° ni au-dessus de + 26°, car entre 0° et + 23°, cet élément se trouve dans un état tout à fait instable : le tableau ne peut donc être utilisé qu'entre 23° et 26°.

MM. Jœger et Lindeck rappellent que des expériences poursuivies pendant six années à la Reichsanstalt ont prouvé que l'élément au cadmium se prêtait aux exigences des mesures de précision. L'instabilité signalée par M. Cohen se présente justement dans les conditions que les prescriptions de la Reichsanstalt recommandent d'éviter; il est recommandé, en effet, de ne pas se servir de l'étalon au voisinage de 0° et d'employer un amalgame d'une richesse inférieure à 14,3 p. 100.

M.-L.

DÉCHARGE ÉLECTRIQUE

Courant de rupture dans un circuit ramifié, par **K.-R. Johnson**. *Drude's Annalen*, t. II, p. 495-505, juillet 1900.

L'auteur considère un circuit renfermant une batterie B et fermé par deux branches I et II, ayant respectivement des résistances R_1 et R_2 et des self-inductions L_1 et L_2. La résistance de la batterie est supposée négligeable vis-à-vis de R_1 et R_2.

La capacité du circuit ne peut être négligée ; s'il n'y a pas de condensateur d'inséré, il faut tenir compte de la capacité C des deux bobines I et II, en la supposant reliée aux sommets *a* et *b* de la dérivation. Si on a relié les armatures d'un condensateur à ces sommets, C représentera la capacité totale de ce condensateur et des bobines.

Si E_0 est la force électromotrice de la batterie les quantités d'électricité correspondant au courant de fermeture dans chacune des branches de la dérivation sont :

$$q_1 = \int_0^\infty i_1 dt = -\frac{E_0 L_1}{R_1^2}$$

$$q_2 = \int_0^\infty i_2 dt = -\frac{E_0 L_2}{R_2^2}$$

Si E est la différence de potentiel entre les armatures du condensateur, on a après la rupture, c'est-à-dire après la suppression de la force électromotrice E_0.

$$(1) \quad \begin{cases} L_1 \dfrac{di_1}{dt} + R_1 i_1 = -E \\ L_2 \dfrac{di_2}{dt} + R_2 i_2 = -E \\ i_1 + i_2 = C \dfrac{dE}{dt} \end{cases}$$

à une époque quelconque *t*.

De ces équations on déduit par intégration :

$$Q_1 = -Q_2 = \left(\frac{L_1}{R_1} - \frac{L_2}{R_2}\right) \frac{E_0}{R_1 + R_2}$$

$$Q_1 - Q_2 = 2\left(\frac{L_1}{R_1} - \frac{L_2}{R_2}\right) \frac{E_0}{R_1 + R_2}$$

Si $R_1 = R_2$, le courant constant n'influencera pas un galvanomètre différentiel dont les bobines sont insérées respectivement dans les branches I et II.

On pourra alors au moyen de ce galvanomètre mesurer $q_1 - q_2$ ou $Q_1 - Q_2$ et on aura, comme il est aisé de le vérifier :

$$q_1 - q_2 = -(Q_1 - Q_2)$$

Comme $Q_1 + Q_2 = 0$, le courant de rupture circule en sens contraire dans les deux branches de la dérivation. Il circule dans la branche I dans le même sens que le courant constant si $L_1 > L_2$. Il parcourt en somme le circuit fermé constitué par les deux branches de la dérivation.

La formation de l'étincelle de rupture dépend de la différence de potentiel E. Cette différence de potentiel peut se calculer par les équations (1).

$$E = A_1 e^{z_1 t} + A_2 e^{z_2 t} + A_3 e^{z_3 t}$$

A_1, A_2, A_3 sont des constantes d'intégration ; z_1, z_2, z_3 sont les racines de l'équation du troisième degré :

$$L_1 L_2 C z^3 + C(R_2 L_1 + R_1 L_2) z^2 + (L_1 + L_2 + C R_1 R_2) z + R_1 + R_2 = 0.$$

La discussion de cette équation du troisième degré dans toute sa généralité présente quelques difficultés.

Cette discussion générale n'aurait d'ailleurs qu'un intérêt limité. L'unité pratique de capacité le microfarad est égal à 10^{-15} C G S ; l'ohm et le henry sont égaux à 10^9 ; les produits CL et RL sont donc toujours très petits (¹).

(¹) Deux cas particuliers sont intéressants :

$$1^\circ \quad \frac{R_1}{L_1} = \frac{R_2}{L_2}$$

L'équation différentielle prend alors la forme plus simple :

$$L_1 L_2 C \frac{d^2 E}{dt^2} + L_1 R_2 C \frac{dE}{dt} + (L_1 + L_2) E = 0.$$

On obtient donc les mêmes résultats que pour un circuit simple qui aurait pour résistance R et pour self induction L,

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \qquad L = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2}$$

La valeur maxima E_m de E est égale à :

$$E_m = \frac{E_0}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}\, e^{-\frac{\alpha}{\beta} \operatorname{arc\,tg} \frac{\alpha}{\beta}} .$$

Dans cette expression α et β sont définis par les for-

Production des rayons cathodiques par la lumière ultra-violette, par **P. Lenard**. *Drude's Annalen*, t. II, p. 359-376, juin 1900

La lumière ultra-violette, comme l'a découvert Hertz, excite la déperdition de l'électricté négative : on a déterminé les trajectoires d'après lesquelles s'effectue cette déperdition, mais on ne sait pas quels sont les véhicules de l'électricité.

Il peut se faire que ces véhicules soient des particules matérielles empruntées au conducteur. Pour reconnaître s'il en était ainsi, Lenard a éclairé par la lumière ultra-violette une électrode en amalgame de sodium entourée d'une atmosphère d'hydrogène. L'appareil était disposé de manière que toute l'électricité échappée de l'électrode fût reçue par un fil de platine. Il a fait durer l'expérience assez longtemps pour que la quantité d'électricité transportée fût égale à $2{,}9 \; 10^{-6}$ coulombs. Si cette électricité est transportée par les atomes de sodium, en prenant comme équivalent électrochimique du sodium, le nombre habituel, le platine aurait dû recevoir $0{,}7 \; 10^{-5}$ mmgr de ce métal. Cette quantité est susceptible d'être décelée par l'analyse spectrale : or en portant le fil de platine dans une flamme, on n'a pas trouvé trace de réaction sodique.

D'autre part, Righi a trouvé que l'action de la lumière sur un conducteur possédant une forte charge négative, croît d'abord quand on raréfie l'air de plus en plus, atteint un maximum et décroît ensuite. En outre, si le conducteur est primitivement à l'état neutre, il s'électrise d'autant plus facilement que la pression est plus basse. Cette circonstance fait soupçonner que les deux phénomènes ne proviennent pas de la même cause. Pour séparer autant que possible les deux phénomènes, Lenard a étudié d'abord ce qui se passe dans le vide extrême.

Dans le tube évacué se trouvent : l'électrode U (fig. 1) qui doit recevoir la lumière ultra-violette : c'est un disque d'aluminium de 1,5 cm de diamètre ; une électrode de même grandeur E, qui est toujours en communication avec le sol, placée parallèlement à U ; enfin deux électrodes α et β utilisées seulement dans quelques expériences spéciales. La source de lumière est constituée par une étincelle électrique jaillissant entre deux boules de zinc ; le zinc donne dans ces conditions une lumière très riche en rayons ultra-violets. En B, le récipient porte une tubulure fermée par une lame de quartz par laquelle pénètrent les rayons; un diaphragme en clinquant intercepte ceux de ces rayons qui ne rencontreraient pas l'électrode U.

On fait le vide dans le tube en le chauffant et

---

mules :

$$\alpha = \frac{R}{2L} \qquad \beta = \sqrt{\frac{1 - \frac{CR^2}{4L}}{LC}}$$

et $-\alpha \pm \beta\sqrt{-1}$ représente les racines de l'équation caractéristique :

$$z^2 + \frac{R_2}{L_2} z + \left(\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}\right)\frac{1}{C} = 0.$$

Suivant la valeur de E_m, il y aura étincelle de rupture ou non.

Si E_m est très grand, ce qui arrivera d'ordinaire, il se produira une étincelle. Si E_m ne dépasse pas une certaine limite, l'étincelle ne pourra se produire. En général, on cherche à réaliser cette condition en réduisant l'intensité du courant constant i :

$$\frac{E_0}{R} = E_0\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right);$$

2° L_2 est très voisin de zéro.

Pratiquement, cette condition signifie que la self-induction L_1 de l'une des branches est très petite vis-à-vis de celle de l'autre branche, mais reste grande néanmoins vis-à-vis de C. On peut alors négliger dans l'équation tous les termes qui contiennent à la fois C et L_1 : de même, on peut négliger $\frac{R_1}{L_1}$ vis-à-vis de $\frac{R_2}{L_2}$.

L'une des racines de l'équation caractéristique a très approximativement pour valeur :

$$z_1 = -\frac{R_1 + R_2}{L_1} = -r$$

les deux autres sont à peu près :

$$\begin{matrix} z_2 \\ z_3 \end{matrix} = -\frac{R_2}{2L_2} \pm \frac{\sqrt{-1}}{\sqrt{CL_2}}\sqrt{1 - \frac{CR_2^2}{4L_2}} = -q \pm p\sqrt{-1}$$

On peut écrire alors :

$$E = Ae^{-rt} + Be^{-qt}\sin(pt + \varphi)$$

les constantes A, B, φ sont à déterminer d'après les conditions initiales.

En discutant cette équation, on trouve que, par exemple, avec $L_2 = 10^{-5}$ henry, $C = 1$ microf., $R_2 = 1$ ohm. B sin φ et B cos φ ne peuvent pas prendre de grandes valeurs et qu'on arrivera ainsi à supprimer l'étincelle de rupture. Il sera donc possible, en insérant dans le circuit un condensateur de capacité convenable, d'employer un galvanomètre différentiel, sans être troublé par la décharge oscillatoire. M. L.

en y faisant passer les décharges d'une forte bobine d'induction jusqu'à ce que ces décharges ne le traversent plus, mais passent en dehors.

Dans ces conditions, les feuilles d'un électroscope reliées à l'électrode U, retombent immédiatement dès que l'électrode est irradiée, quand l'électrode est chargée négativement. Une charge positive se conserve ou se perd extrêmement peu. Si l'électrode est à l'état neutre, elle prend sous l'influence des rayons une charge positive, jusqu'à ce que son potentiel soit devenu égal à 2,1 volts.

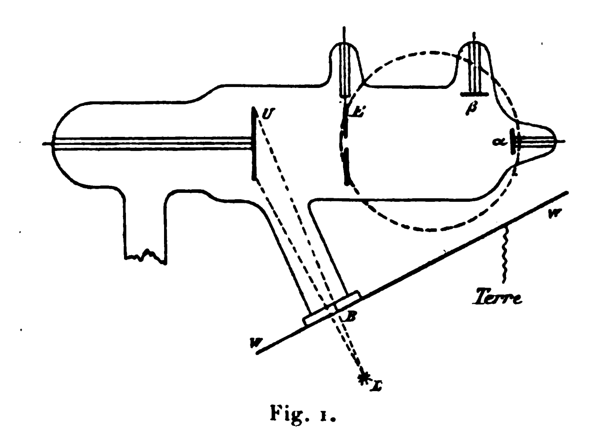


Fig. 1.

Tous ces phénomènes disparaissent quand on interpose entre la source de lumière et l'appareil une lamelle de mica.

Il faut conclure de cette expérience que les phénomènes provoqués par la lumière extraviolette se produisent aussi bien et même mieux dans le vide extrême que dans l'air ; l'air ne joue donc aucun rôle essentiel Cette expérience démontre en même temps l'existence de l'électricité négative dans le vide.

La quantité d'électricité qui s'échappe de l'électrode pendant un temps donné est, dans de larges limites, indépendante du potentiel de l'électrode ; mais, quand le potentiel descend au-dessous de 100 volts, cette quantité d'électricité diminue nettement en même temps que ce potentiel. Ce dernier fait est assez difficile à expliquer. Lénard suppose que l'émission d'électricité n'est pas ralentie, mais qu'une partie de l'électricité émise revient sur l'électrode.

La pression de l'air devenant appréciable, la quantité d'électricité émise par l'électrode irradiée augmente avec le potentiel ; cette augmentation est d'autant plus rapide que la pression de l'air est plus grande.

Les électrodes α et β servent à déterminer la trajectoire de l'électricité, à l'aide du diaphragme E. Si on relie l'électrode α à un électroscope d'Exner, on constate quand U est chargé à un potentiel assez grand (— 30 000 volts environ), que l'électroscope prend une charge négative qui croît lentement. L'électricité va donc de U à α par l'ouverture de E. Mais le courant ne remplit pas toute la section du tube, car on n'obtient aucune électrisation sur β. La propagation se fait donc sous forme de rayons. Ces rayons sont déviables par l'aimant et le sens de cette déviation n'est le même que s'il s'agissait d'un faisceau de rayons cathodiques issus de l'électrode U. Cependant, dans un vide extrême comme celui qui est réalisé dans le tube, il serait impossible de produire des rayons cathodiques à l'aide de simples forces électriques. Mais les rayons ultra-violets donneraient le moyen de produire les rayons cathodiques dans le vide extrême et à l'aide d'une différence de potentiel même très petite.

Pour étudier la déviation magnétique des rayons, Lénard remplace l'électroscope par un électromètre à quadrants. Toute la portion postérieure du tube à partir de E est recouverte d'une enveloppe de clinquant reliée au sol ; l'électrode qui n'est pas utilisée est également reliée au sol.

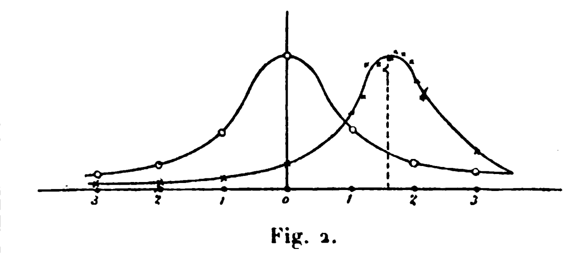


Fig. 2.

Les courbes de la figure 2 ont été construites en prenant comme abscisse l'intensité du courant dans la bobine qui crée le champ magnétique et comme ordonnée la déviation correspondante de l'électromètre. Dans chaque expérience, on détermine la position de l'axe de symétrie tracé en pointillé, c'est-à-dire l'intensité qu'il faut donner au courant pour amener l'axe du faisceau sur le milieu de l'électrode.

Soit H_1 le champ magnétique qui correspond à un courant d'un ampère dans la bobine. R le

rayon de courburé que prend la trajectoire d'une particule cathodique sous l'action de ce champ magnétique ; ε la charge d'une partlcule ; μ sa masse matérielle. Si ces rayons se comportent comme les rayons cathodiques, on doit avoir :

$$H_1{}^2R^2 \frac{\varepsilon}{\mu} = \text{const.}$$

en supposant toutefois que la vitesse intiale des particules est très petite. C'est en effet ce que donnent les expériences.

Pour calculer $\frac{\varepsilon}{\mu}$, il est nécessaire de connaître deux valeurs correspondantes de H_1 et de R, prises du reste en un point quelconque du rayon. Comme le champ est à peu près uniforme, on peut admettre que la trajectoire a une courbure constante dans la portion considérée. Pour déterminer l'intensité du champ dans le plan du rayon considéré, on fait osciller une petite aiguille fortement aimantée et lestée par du plomb. Quant au rayon R, c'est celui d'un cercle passant par le centre de E et par celui de β, et ayant en E une tangente connue.

Les valeurs de $\frac{\varepsilon}{\mu}$ ainsi obtenues diffèrent de celles trouvées par l'étude des rayons cathodiques ordinaires ; mais il n'y a aucune raison de croire que cette différence tient à autre chose qu'à des circonstances expérimentales accessoires.

La vitesse v des rayons produits par la lumière ultra-violette, correspondant à une différence de potentiel de 600 volts, n'est guère que le 1/30 de la vitesse de la lumière, inférieure par conséquent à la vitesse des rayons observés jusqu'ici. On s'explique facilement qu'ils ne provoquaient sur le verre aucune phosphorescence appréciable.

L'ensemble des observations permet aussi de conclure que le rayonnement n'est pas normal à la surface irradiée, mais se diffuse dans toutes les directions. De cette diffusion résulte aussi que la vitesse initiale des particules est finie. C'est ce que prouve aussi l'action d'un champ magnétique sur l'émission. Si on crée un champ magnétique croissant dans la région où se trouve l'électrode irradiée, l'émission se trouve diminuée dès que le champ atteint 6 unités G.G.S et est presque totalement supprimée quand le champ est de 16 GGS. De la grandeur du champ qui commence à agir sur l'émission et des dimensions de l'appareil, on déduit pour la vitesse initiale en nombres ronds $10^8 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$.

On obtient un nombre du même ordre de grandeur en partant de ce fait que l'émission s'arrête quand le potentiel de l'électrode U est positif et égal à 2,1 volts.

Les résultats qui précèdent sont relatifs au vide extrême ; cependant on peut aussi en conclure en partie ce qui se passera quand le tube renfermera du gaz. Ces prévisions paraissent s'accorder avec ce qui est déjà connu. Les rayons cathodiques émis par la surface irradiée seront absorbés par le gaz auquel ils céderont leur charge. Puis l'électricité se déplacera avec les vitesses relativement faibles et suivant les trajectoires que Righi a étudiées.

Si la pression n'est pas très petite, ce transport d'électricité se fera sous forme de rayons cathodiques, mais ces rayons seront limités à une faible épaisseur au voisinage de la surface irradiée, car en raison de leur faible vitesse initiale, ils sont très absorbables. A une pression très faible, cette épaisseur augmentera parce que le pouvoir absorbant du gaz devient plus faible. Il est possible que le transport diffus des charges électriques signalé par Righi soit identique avec le rayonnement cathodique diffus signalé par Lenard.

La présence du gaz complique encore les phénomènes par la conductibilité que le gaz acquiert en absorbant les rayons cathodiques.

M. L.

Action mécanique des rayons cathodiques, par **H. Starke**. *Drude's Ann*, t. III, p. 100-108, sept. 1900.

L'auteur a cherché à mesurer l'action mécanique des rayons cathodiques en se mettant à l'abri des perturbations provoquées par les phénomènes calorifiques.

Il fait arriver les rayons cathodiques, sous l'incidence de 45° environ, sur un disque d'aluminium horizontal suspendu à un fil de quartz et observe la déviation angulaire de ce disque. Les résultats obtenus ne sont pas constants, peut-être à cause des irrégularités de fonctionnement de la machine à influence qui produit la décharge.

M.L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 15 octobre 1900

Préparation et propriétés des carbures de néodyme et de praséodyme, par **H. Moissan.** *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 595-600.

Dans cette note M. Moissan publie les résultats des recherches dont il avait déjà parlé, en juillet dernier, à la section d'électrochimie du récent Congrès international de chimie.

Le carbure de néodyme s'obtient de la manière suivante : On prépare un mélange intime d'oxyde Ne^2O^3 (250 gr.) et de charbon de sucre (50 gr) ; on y ajoute un peu d'essence de térébenthine et on fait, par pression, des petits cylindres que l'on calcine légèrement au four Perrot jusqu'à ce qu'ils ne dégagent plus de gaz combustibles. Le produit, encore chaud, est enfermé dans des flacons bouchés à l'émeri et conservé à l'abri de l'humidité. Ces cylindres sont placés dans le creuset du four électrique Moissan et chauffés pendant quatre minutes, au moyen d'un courant de 900 ampères sous 50 volts. Après l'opération on trouve une masse fondue qui, le plus souvent, se détache avec une grande facilité et qui est constituée par du carbure de néodyme à peu près pur.

Le carbure de praséodyme s'obtient en traitant de la même manière un mélange de 250 gr d'oxyde PrO^2 et de 32 gr de charbon de sucre.

Les deux carbures diffèrent peu comme aspect et comme propriétés (le néodyme et le praséodyme sont deux métaux assez voisins pour avoir été longtemps confondus sous le nom de didyme). Ils fournissent au contact de l'eau un mélange complexe d'hydrocarbures de composition très voisine, riche surtout en acétylène et en méthane ; cette propriété les range entre les carbures alcalino-terreux qui ne donnent que de l'acétylène et le carbure d'aluminium qui ne donne que du méthane. L'azote réagit sur eux à 1 200° en donnant l'azoture qui, jeté dans l'eau, forme de l'ammoniaqne.

Sur les mélanges explosifs formés par l'air et par les hydrocarbures des principales séries organiques, par **J. Meunier.** *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 611-613.

L'auteur a calculé la composition centésimale en poids que doit avoir un mélange d'hydrocarbure et d'air pour que la combustion soit théoriquement complète ; il est arrivé à des résultats très simples dont la connaissance présente quelque intérêt pour les constructeurs de moteurs à gaz tonnants.

Ainsi pour les carbures saturés, dont la combustion complète répond à la formule

$$C^nH^{2n+2} + (3n+1)\,O = n\,CO^2 + (n+1)\,H^2O,$$

on trouve que les poids d'hydrocarbures que doivent contenir 100 gr du mélange de l'un d'eux avec l'air croissent régulièrement de 5,4 gr à 6,25 gr quand n varie de 1 à 10 ; en raison de la faible différence que présentent ces limites, on peut donc, pratiquement, admettre la proportion de 6,2 p. 100 comme étant celle de la combustion complète des carbures constituant l'essence de pétrole.

Pour les carbures éthyléniques, C^nH^{2n} on trouve que la proportion est indépendante de n et égale à 6,36 p. 100

Pour l'acétylène la proportion est 7,03 p. 100.

Pour la benzine elle est 7,04 et pour le toluène 6,93 p. 100. Il y a lieu de faire observer que les vapeurs de benzine mélangées à l'air, même dans la proportion de 7 p. 100, ne s'allument pas à la température à laquelle les mélanges des vapeurs plus lourdes des hydrocarbures saturés s'enflamment à coup sûr ; c'est d'ailleurs ce qui a déjà été remarqué dans les moteurs à benzine.

Sur l'élimination des harmoniques des courants alternatifs industriels par l'emploi des condensateurs et sur l'intérêt de cette élimination au point de vue de la sécurité pour la vie humaine, par **Georges Claude.** *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 612-616.

M. Pérot a présenté récemment [1] à l'Académie une note relative à l'emploi des moteurs synchrones à self-induction, dans le but important d'abaisser la tension des harmoniques aux bornes des alternateurs et de rapprocher les courbes pratiques de ces machines de la sinusoïde théorique.

(1) *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 377, 6 août 1900. — *Écl. Élect.*, t. XXIV, p. 395, 8 septembre 1900.



M. Claude s'était proposé, il y a quelque temps. d'arriver au même résultat par une méthode analogue reposant sur l'emploi des condensateurs [1].

Pour détruire les différentes harmoniques dangereuses, cette méthode exigerait autant de circuits résonants que d'harmoniques, soit deux ou trois en pratique ; c'est là une infériorité par rapport à la méthode de M. Pérot. Par contre, les condensateurs sont des appareils *inertes* et leur emploi ne risquerait pas d'introduire dans la courbe du courant de nouvelles harmoniques.

Avec l'assentiment de M. Lauriol, ingénieur de la Ville de Paris, M. Claude a effectué quelques expériences sur le réseau alternatif de l'Usine des Halles. Il n'a pu arriver à des résultats satisfaisants par suite de la rupture constante des condensateurs employés, et c'est ce qui l'avait déterminé à passer ces essais sous silence. L'espoir que l'on peut maintenant concevoir d'être mis en possession de condensateurs véritablement industriels, grâce aux remarquables travaux de M. le professeur Lombardi présentés au récent Congrès d'électricité, permettent cependant d'espérer l'application de cette nouvelle méthode, pour laquelle de faibles capacités, peu coûteuses et constituant des appareils inertes, seraient suffisantes.

En terminant M. Claude rappelle que l'un des éléments d'intérêt de la régularisation des courbes des alternateurs résiderait dans la possibilité de diminuer notablement le danger des installations à courant alternatif pour la vie humaine.

« Dans une précédente Note [1], j'ai fait remarquer, dit-il, qu'une cause fréquente des accidents mortels dus aux courants alternatifs consiste dans le contact du corps des victimes avec *un seul* des pôles de l'installation, le circuit se trouvant fermé par la terre et la capacité du ou des câbles opposés par rapport à la terre. D'où la possibilité que j'avais signalée de supprimer cette cause d'accident en neutralisant cette capacité par rapport à la terre à l'aide de self-inductions convenables. Malheureusement, une telle neutralisation n'est parfaite qu'au cas où le courant est rigoureusement sinusoïdal, et comme il n'en est pas ainsi dans la pratique, je n'ai pu arriver par ce procédé qu'à une amélioration déjà intéressante, mais encore insuffisante, soit à la multiplication par 5 ou 6 de l'isolement apparent en marche dans le cas d'alternateurs Ferranti.

» Or on conçoit que l'efficacité du système serait considérablement augmentée s'il était complété par l'épuration préalable de la différence de potentiel aux bornes par le procédé que je viens d'indiquer ou tel autre analogue.

» A l'aide de moyens peu coûteux il serait possible de relever suffisamment les valeurs de l'isolement en marche pour diminuer beaucoup la proportion des accidents mortels entraînés par des installations dont le nombre croît chaque jour d'une façon si rapide. »

[1] Soit un alternateur de self-induction L, de résistance R, fournissant une force électromotrice affectée de différentes harmoniques. Parmi celles-ci, considérons-en une e_n, où

$$e_n = E_n \sin n\omega t$$

et proposons-nous d'atténuer la valeur de la différence du potentiel en $n\omega$ aux bornes de l'alternateur. Sur cet alternateur, supposé séparé du circuit extérieur, branchons un ensemble comportant une self-induction L', une résistance R' et une capacité C'.

La différence de potentiel aux bornes de l'alternateur, afférente à cette harmonique, est donnée par la formule

$$e'_n = E_n \sqrt{\frac{R'^2 + \left(n\omega L' - \frac{1}{n\omega C'}\right)}{(R+R)^2 + \left[n\omega(L+L') - \frac{1}{n\omega C'}\right]^2}} \sin(n\omega t - \varphi_1),$$

et si $n\omega L' = \frac{1}{n\omega C'}$ c'est-à-dire si le circuit dérivé *résone* pour la fréquence $n\omega$,

$$e'_n = E_n \frac{R'}{\sqrt{(R+R')^2 + (n\omega L)^2}} \sin(n\omega t - \varphi_1).$$

A la condition de prendre R' petit, on pourrait donc réduire e'_n dans telle mesure qu'on voudrait et l'alternateur, couplé dans ces conditions sur le circuit extérieur, y débiterait un courant sensiblement exempt de l'harmonique en $n\omega t$.

On conçoit, au surplus, que le circuit résonant n'affecterait sensiblement que l'harmonique à laquelle il serait destiné et, au contraire, très peu la force électromotrice fondamentale, malgré la plus grande amplitude de celle-ci ; d'une part, en effet, la résistance opposée par ce circuit au courant en ωt serait très grande ; d'autre part, la résistance apparente de l'induit de l'alternateur à ce même courant serait, au contraire, beaucoup plus faible, soit ωL au lieu de $n\omega L$.

[1] *Comptes rendus*, t. CXVII, p. 689, 20 novembre 1893.

Sur les réactions accessoires de l'électrolyse, par **A. Brochet.** *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 616-610.

Lorsque, après l'électrolyse d'une solution concentrée d'hypochlorite de sodium, on dose la quantité de ce sel restant en solution, on remarque que la quantité disparue ne correspond nullement à celle calculée en tenant compte, d'une part, de la réduction cathodique qui transforme l'hypochlorite en chlorure et, d'autre part, de l'oxydation anodique qui le transforme en chlorate. Il est donc disparu beaucoup plus d'hypochlorite que ne permet de le prévoir la théorie. L'inverse a lieu pour le chlorate, qui est obtenu en plus grande abondance qu'on ne pouvait le présumer. Il y a donc là un fait paraissant, *a priori*, en désaccord avec la loi de Faraday, mais qui résulte simplement d'une action indépendante de l'action électrolytique, bien qu'étant provoquée par elle. Ce fait est constant dans toutes les électrolyses d'hypochlorite.

L'auteur propose de donner aux réactions de ce genre le nom de réactions accessoires de l'électrolyse ; il en montre l'importance et en donne la théorie (1).

(1) « *Importance des réactions accessoires de l'électrolyse.* — Dans le cas qui nous intéresse cette importance est considérable : c'est ainsi qu'avec 200 cm³ d'une solution d'hypochlorite de soude marquant 44° chlorométriques la perte en hypochlorite pendant quatre heures, avec une intensité de 2 ampères correspondant à une densité de courant de 0,045 ampère par centimètre carré, dépassa de 25 p. 100 la quantité calculée. Dans un autre essai fait dans les mêmes conditions avec une solution marquant 35°, la perte fut de 54 p. 100 pendant la première heure et 25 p. 100 pendant la seconde.

» Cette réaction accessoire est donc d'autant plus considérable que la teneur en hypochlorite est plus élevée ; elle n'est pas influencée par l'addition de chromate et ne l'est que peu par addition d'alcali ; cependant lorsque l'on diminue la teneur en alcali et que celle-ci tend vers 0, la réaction accessoire s'accentue et se fait sentir même lorsque le courant ne passe plus : elle devient alors la réaction chimique normale, on peut facilement de ce fait en déduire la théorie.

» *Théorie de la réaction accessoire de l'électrolyse dans le cas des hypochlorites.* — On sait que les hypochlorites sont relativement stables en milieu alcalin, mais au contraire en milieu acide ou en présence d'un excès de chlore, ils se transforment en chlorate et chlorure ; la réaction peut même être accompagnée d'un dégagement d'oxygène. Fœrster et Jorre ont établi que cette oxydation avait lieu sous l'influence de l'acide hypochloreux, qui oxydait les hypochlorites et les chlorures (*Journ. prakt. Chem*, p. 53, 1899). J'ai indiqué, dans un travail récent (*Bull. Soc. Chim.*, 3e série, t. XXIII, p. 209) qu'il devait plutôt y avoir une auto-oxydation de l'acide hypochloreux, ainsi que semblent le montrer des recherches que je poursuis à ce sujet ; d'autre part, il est connu que les solutions d'acide hypochloreux se décomposent d'autant plus rapidement qu'elles sont plus concentrées ; au cours des mêmes recherches, j'ai remarqué que, dans certains cas, la transformation de l'acide hypochloreux en acide chlorique est tellement rapide qu'il est impossible de suivre par le dosage la vitesse de la réaction.

» C'est la raison de cette *réaction accessoire*.

» Par suite des actions chimiques qui se passent pendant l'électrolyse d'un hypochlorite, *le voisinage immédiat de l'anode est toujours acide ;* il en résulte que, à côté de l'acide hypochloreux transformé en acide chlorique par voie électrochimique et proportionnellement à la quantité d'électricité, une partie de cet acide hypochloreux très concentré, étant donnée la teneur en hypochlorite, se transforme spontanément, par auto-oxydation directe, en acide chlorique. Une partie plus ou moins grande, suivant les conditions, donne de l'oxygène comme dans la décomposition spontanée des solutions d'acide hypochloreux et d'hypochlorite.

» Cette théorie s'applique également en milieu alcalin ; en effet, quel que soit l'état d'alcalinité ou d'acidité du milieu, on peut toujours admettre que, dans l'électrolyse des sels, sauf le cas de produits obtenus complètement insolubles, le voisinage immédiat de l'anode sera toujours acide, et celui de la cathode toujours alcalin.

» Il serait intéressant de voir comment se comporte la *réaction accessoire* lorsque la teneur en hypochlorite baisse. Malheureusement, à ce moment les valeurs pour l'oxydation et la réduction sont très variables et rendent les calculs très laborieux et presque impossibles. Dans le but de les simplifier, j'avais pensé supprimer un des facteurs, celui de la réduction par l'emploi de chromate, mais étant donnée la grande concentration de l'hypochlorite, la réduction n'est jamais nulle, de sorte que les calculs sont au contraire plus compliqués, car on n'a pas au début une période constante pendant un temps assez long (*Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 340).

» *Conséquences des réactions accessoires de l'électrolyse.* — On sait que lorsqu'on électrolyse une solution de chlorure, la teneur limite de l'hypochlorite, par suite de sa réduction et de son oxydation, est de 12,7 gr de chlore actif par litre. J'ai montré que, si l'on supprime la réduction, cette teneur limite atteint 23,5 gr. Il y a lieu de se demander si cette limite est bien due uniquement à l'oxydation de l'hypochlorite et si la réaction accessoire n'en serait pas la vraie cause. Comme nous venons de le voir, étant donnée la difficulté de suivre la réaction accessoire dans le cas d'hypochlorite à faible teneur, la question ne peut être tranchée actuellement.

» En tout cas il est certain que, si la limite est bien due uniquement à l'oxydation de l'hypochlorite, il est inutile de chercher à supprimer cette oxydation pour avoir des hypochlorites à titre élevé, comme je l'avais indiqué, car on serait bientôt arrêté à nouveau par la limite due à la réaction accessoire. »

Le Gérant : **C. NAUD.**



Tome XXV. Samedi 24 Novembre 1900. 7e Année. — N° 47

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

EXPOSITION UNIVERSELLE

GROUPE ÉLECTROGÈNE DE 1 760 KILOWOTS-AMPÈRES DE MM. BROWN, BOVERI ET Cie ET MM. SULZER FRÈRES

MM. Brown, Boveri et Cie de Baden-Suisse, ont exposé, en dehors d'un grand nombre de moteurs à courants continus et alternatifs, deux groupes électrogènes non utilisés pour le service de l'éclairage et du transport d'énergie, mais qui, toutefois, fonctionnent à vide.

L'un de ces groupes (fig. 1) est constitué par un alternateur du type volant actionné par un moteur à vapeur de MM. Sulzer frères de Winterthur, dont nous donnerons tout d'abord les dimensions principales.

Moteur a vapeur. — Ce moteur à vapeur est du type à triple expansion et à quatre cylindres horizontaux : un à haute pression, un à moyenne pression et deux à basse pression.

Les dimensions et constantes principales de cette machine sont :

Diamètre du petit cylindre	60 cm
Diamètre du cylindre à moyenne pression	85 cm
Diamètre du cylindre à basse pression	102,5 cm
Course commune des pistons	150 cm
Vitesse angulaire en tours par minute	80
Pression de la vapeur	11 kg cm^2

La puissance normale de cette machine est de 1 700 chevaux indiqués avec une admission de 3/10 ; avec une admission de 4/10 la puissance de la machine peut être élévée à 1 950 chevaux indiqués.

Chacun des cylindres à basse pression est accouplé en tandem avec l'un des deux autres

et les deux groupes de pistons actionnent chacun une manivelle disposée sur un arbre unique ; les deux manivelles sont calées à 90° l'une de l'autre.

La distribution se fait par soupapes Sulzer pour tous les cylindres et la distribution est commandée par deux arbres placés parallèlement aux axes des groupes des cylindres et entraînés par l'arbre moteur à l'aide d'engrenages coniques.

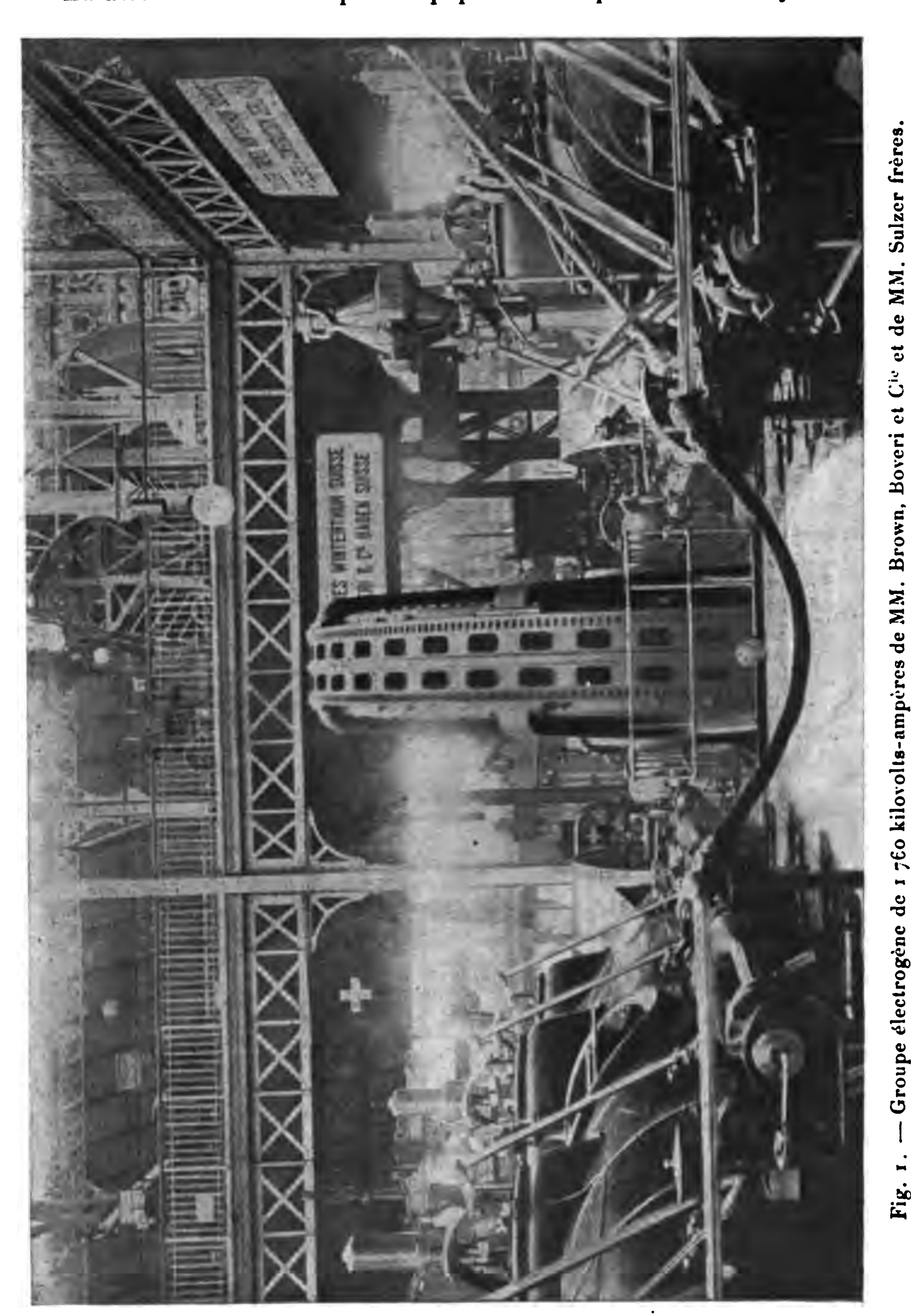


Fig. 1. — Groupe électrogène de 1 760 kilovolts-ampères de MM. Brown, Boveri et Cie et de MM. Sulzer frères.

L'admission dans le petit cylindre est contrôlée par le régulateur, celui-ci faisant varier la position, sur l'arbre de distribution, des excentriques commandant les soupapes d'admission. A cet effet le régulateur agit par engrenages sur une tige, parallèle à l'arbre de distribution, portant un levier relié par des tiges au collier de l'excentrique et dont le déplacement autour de son axe modifie le calage de cet excentrique.

La distribution dans les trois autres cylindres se fait par déclics manœuvrés par des cames calées sur l'arbre de distribution et affectant la forme d'un cœur.

L'admission dans ces trois cylindres et l'échappement dans les quatre cylindres sont réglés à la main.

Les soupapes sont à quatre sièges de façon à réduire la course et à permettre leur emploi avec des vitesses relativement élevées.

La condensation est logée dans le sous-sol ; il y a un condenseur pour chaque groupe de cylindre avec une pompe à air actionnée par les crosses des tiges de pistons.

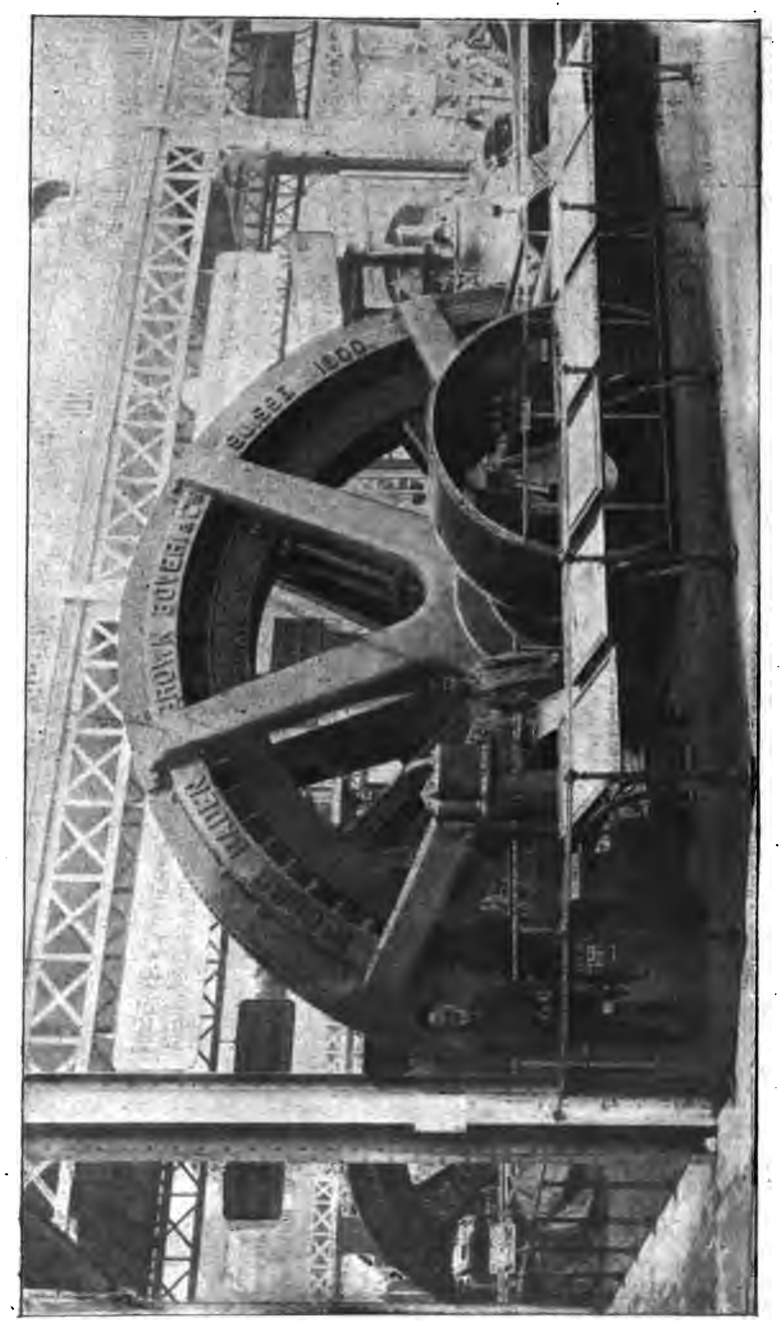


Fig. 2. — Alternateur de 1 760 kilovolts-ampères de MM. Brown, Boveri et Cie, de Baden (Suisse).

Alternateur. — L'alternateur est du type normal triphasé de la maison Brown, Boveri et Cie. Quoique sa puissance le place parmi les alternateurs les plus puissants de l'Exposition, il n'est pas, comme pour beaucoup d'autres exposants, le plus important construit par cette maison (1). Il a une puissance apparente de 1 760 kilovolts-ampères avec un facteur de puissance de 0,85 et par suite une puissance réelle utile de 1 500 kilowatts ou 2 040 chevaux.

La tension aux bornes est de 6 000 volts, et la tension par phase de 3 460 volts. L'intensité du courant dans chaque phase est de 170 ampères. La fréquence est de 50 périodes par seconde, et la vitesse angulaire de 83,5 tours par minute.

Utilisé comme alternateur à courant alternatif simple, la puissance est pour un même courant dans l'induit, de 1 000 kilowatts avec un facteur de puissance égale à l'unité.

Le type d'alternateur Brown, Boveri et Cie est très connu, nous en donnerons cependant une description très rapide qui nous permettra d'indiquer les principales dimensions de la machine.

(1) Les machines les plus puissantes sorties des ateliers de Brown, Boveri, et Cie, sont celles du transport

La figure 2 est une photographie de l'alternateur et les figures 3, 4 et 5 des vues de face de bout et un plan de la même machine.

Inducteur. — L'inducteur est coulé en deux parties assemblées le long de deux bras par quatre boulons ; l'assemblage de la jante est fait par des boulons, dont les écrous sont

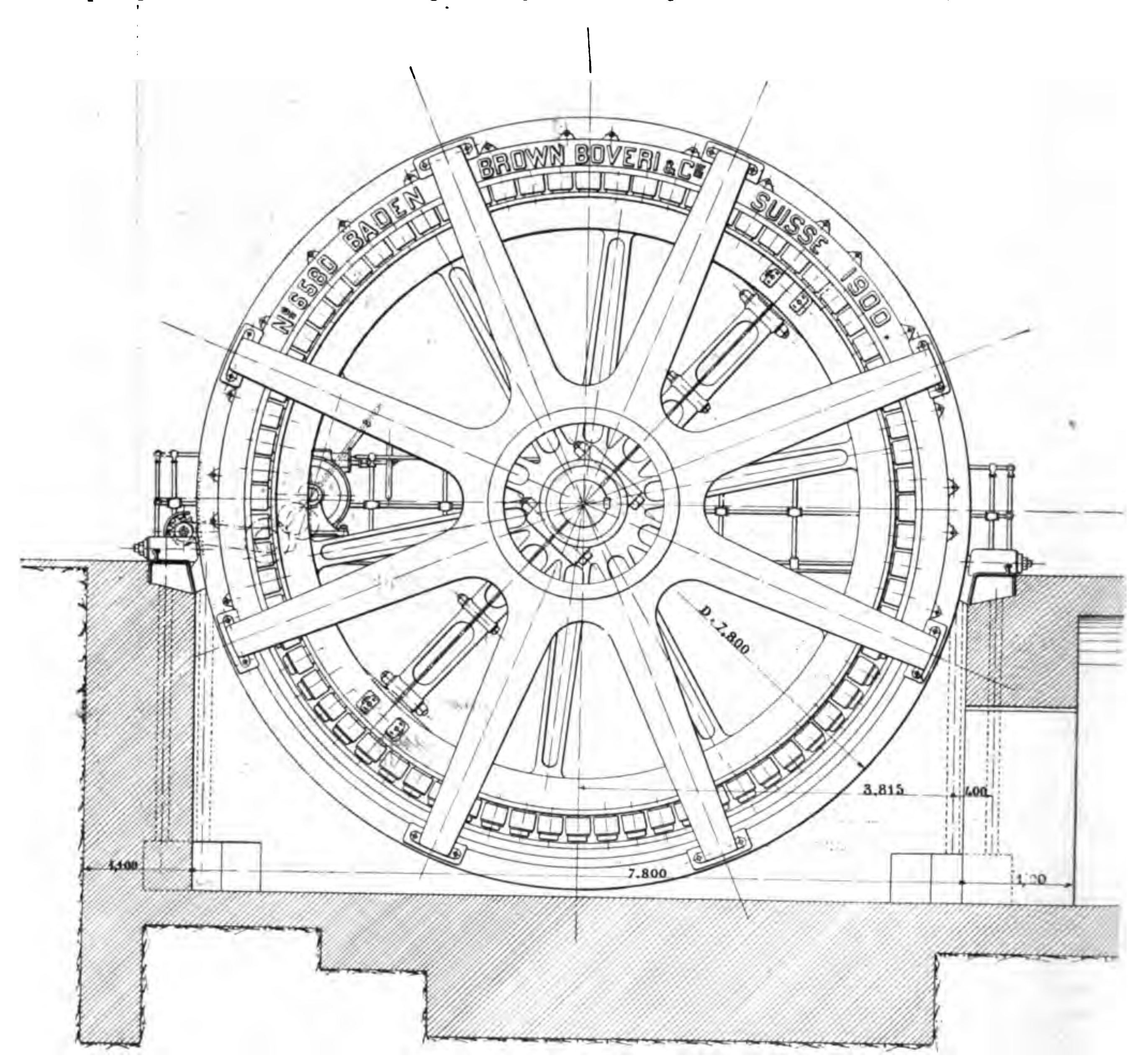


Fig. 3. — Vue de face de l'alternateur Brown, Boveri et Cie de 1760 kilovolts-ampères.

logés dans des niches pratiquées dans la jante. Le moyeu est réuni à cette dernière par huit paires de bras et est serré sur l'arbre par quatre boulons.

d'énergie de Paderno, qui atteignent 2 200 chevaux et qui sont bobinées directement pour 15 000 volts. Leur vitesse angulaire est toutefois assez élevée.

L'entraînement se fait par un seule clavette.

La jante dont la section a la forme d'un U (fig. 6) porte les 72 pôles inducteurs en fer, lesquels sont rapportés sur des fraisures pratiquées dans la jante et sont fixés à celle-ci par des vis qui la traversent complètement.

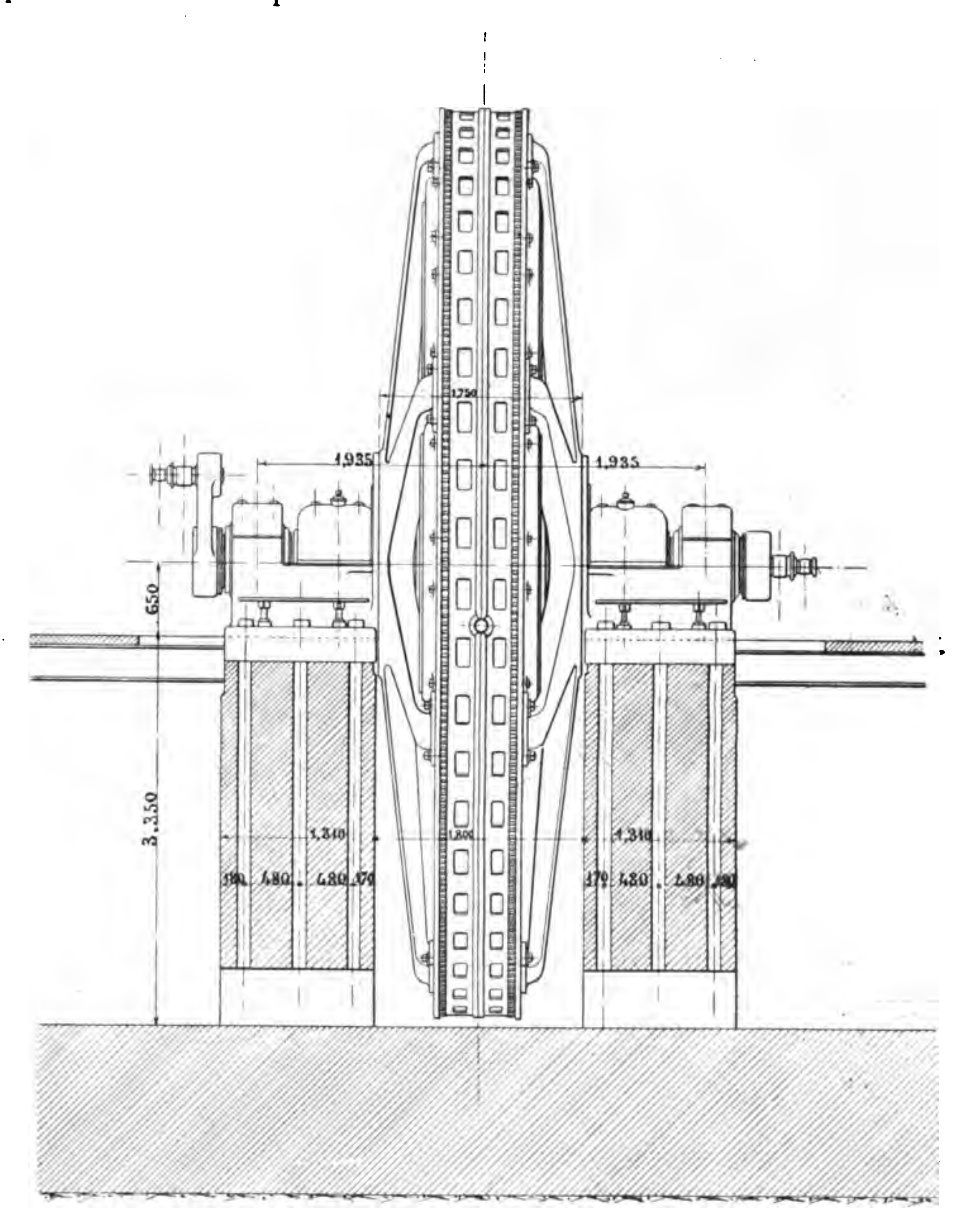


Fig. 4. — Vue de bout de l'alternateur Brown, Boveri et Cie de 1 760 kilovolts-ampères.

Les noyaux polaires (fig. 7 et 8) sont circulaires et leur déplacement autour de l'axe est empêché par un petit ergot. Ils sont surmontés par un épanouissement polaire de forme rectangulaire à bords légèrement arrondis. La largeur des épanouissements polaires est à peu près les deux tiers de celle du pas, soit 20 cm.

Leur longueur parallèlement à l'axe est de 33 cm.

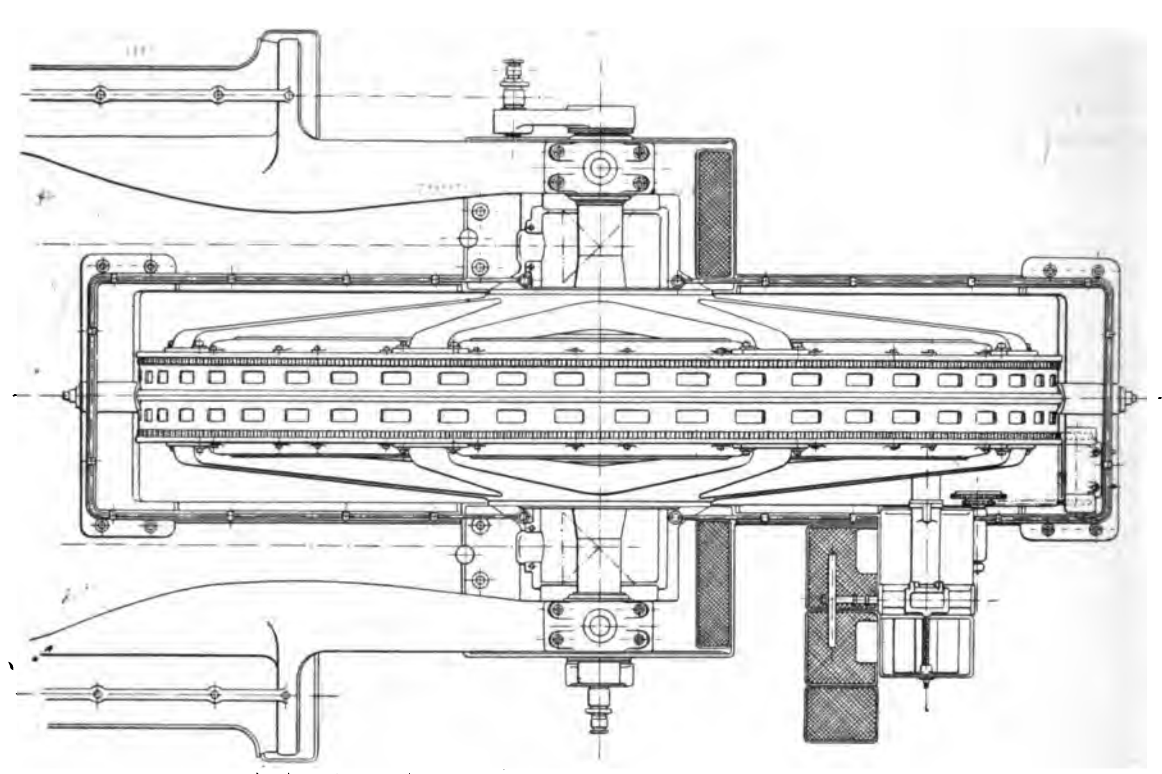


Fig. 5. — Vue en plan de l'alternateur de 1 760 kilovolts-ampères de MM. Brown, Boveri et Cie.

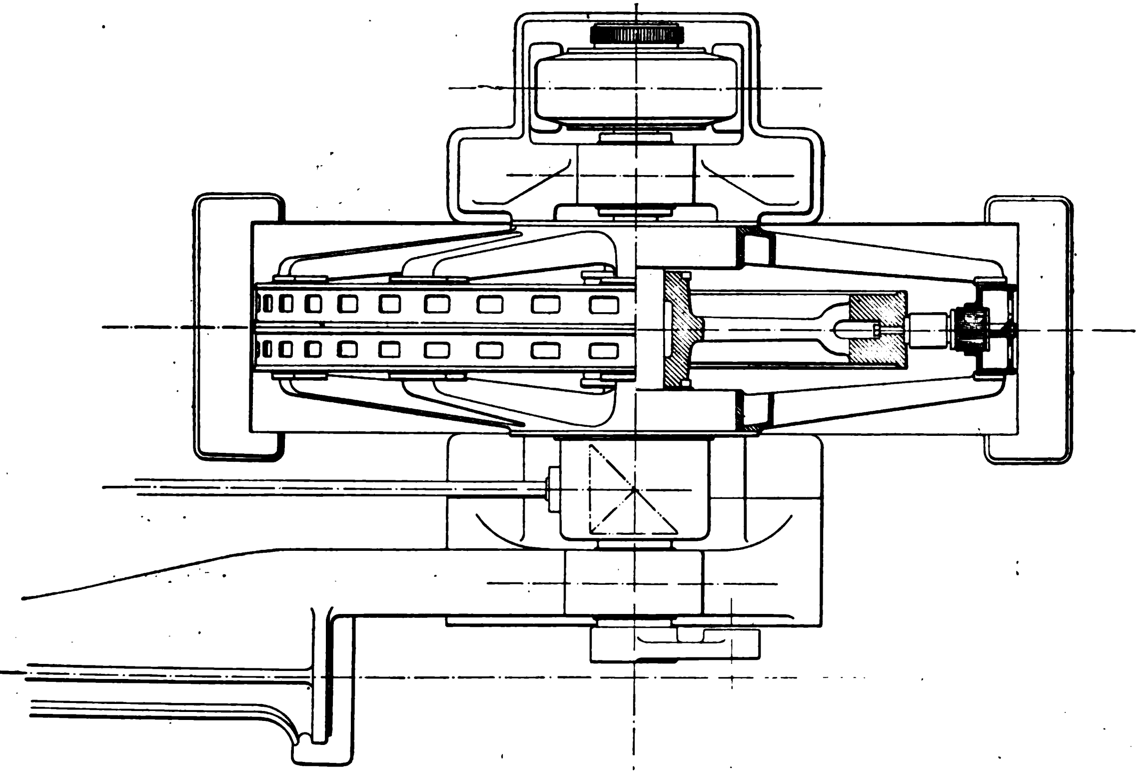


Fig. 6. — Vue en plan avec coupe partielle d'un alternateur Brown Boveri à inducteur mobile intérieur.

Le diamètre de la jante est de 6,30 m et le diamètre à l'extrémité des épanouissements polaires de 6,90 m.

L'enroulement inducteur est fait avec une bande de cuivre enroulé sur champ. Ce dispositif employé pour la première fois par MM. Brown, Boveri et Cie dans une machine à courant alternatif simple de 600 chevaux installée à Lucerne en 1893, est maintenant adopté par un grand nombre de constructeurs.

Chaque pôle inducteur comporte une hélice de 45 spires et toutes les bobines ainsi formées sont en série. La résistance du circuit d'excitation est de 0,33 ohm.

Induit. — La carcasse de l'induit est formée d'une caisse en fonte supportée par deux séries de bras rayonnants qui lui assurent une grande rigidité et qui lui permettent de résister sans être obligé de lui donner un poids trop considérable.

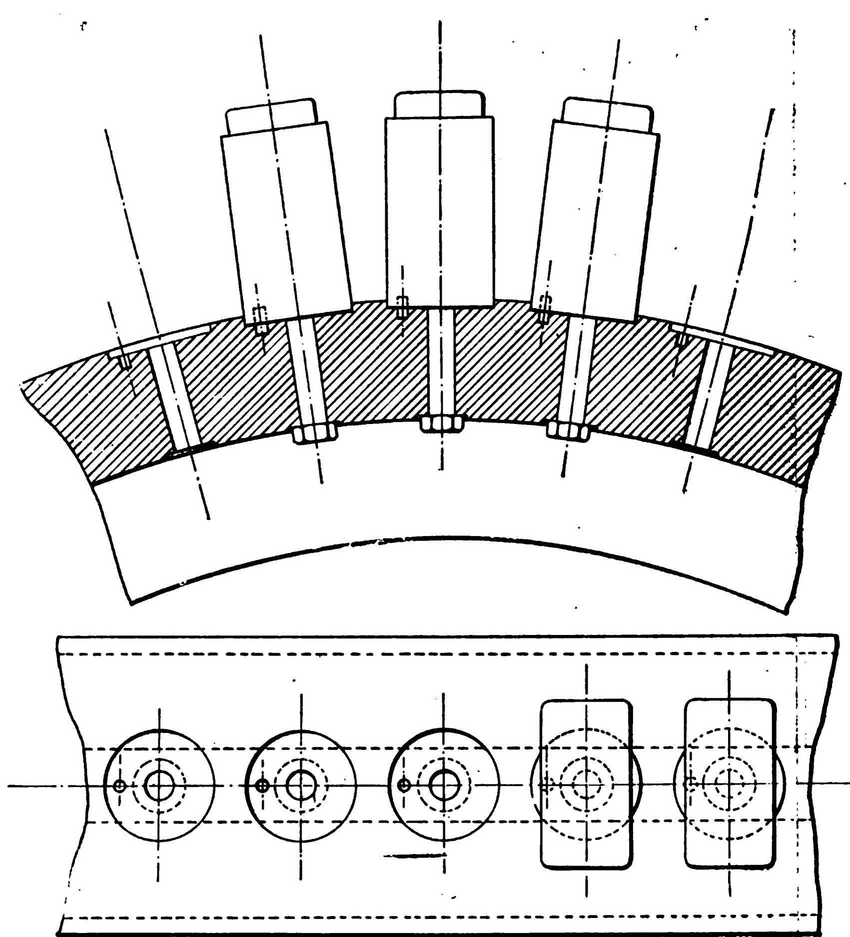


Fig. 7 et 8. — Détails de construction des inducteurs des alternateurs Brown, Boveri et Cie du type à induit fixe extérieur.

Le principal but de cette disposition est de faire reposer l'armature, non directement sur le sol, mais sur deux anneaux venus de fonte avec les paliers de la machine à vapeur. La carcasse peut alors tourner à volonté autour de ces anneaux dès que l'on veut amener à portée de la main les enroulements à visiter ou à réparer. C'est à cet effet que la carcasse est pourvue extérieurement d'une dentelure analogue à celle d'un volant. La rotation de la carcasse induite est du reste obtenue avec le vireur même du volant, vireur qui agit par l'intermédiaire d'une chaîne sur un pignon engrenant avec la dentelure de la carcasse. La rotation est empêchée en temps ordinaire par des vis de butée que l'on retire en temps opportun.

Grâce à cette disposition, l'armature n'ayant pas de fondations propres, on n'a pas à craindre qu'un tassement inégal de ces fondations et de celles du moteur à vapeur ne puisse dérégler l'entrefer.

Le centrage de l'induit par rapport à l'inducteur est établi au moment du tournage des pièces. La photographie de la figure 9 montre bien la constitution des induits des alternateurs Brown, Boveri et Cie.

La carcasse de l'induit est constituée par deux flasques qui viennent serrer entre elles



Fig. 9. — Vue de l'induit d'un alternateur Brown, Boveri et Cie, montrant la constitution de la carcasse et le mode de serrage des tôles.

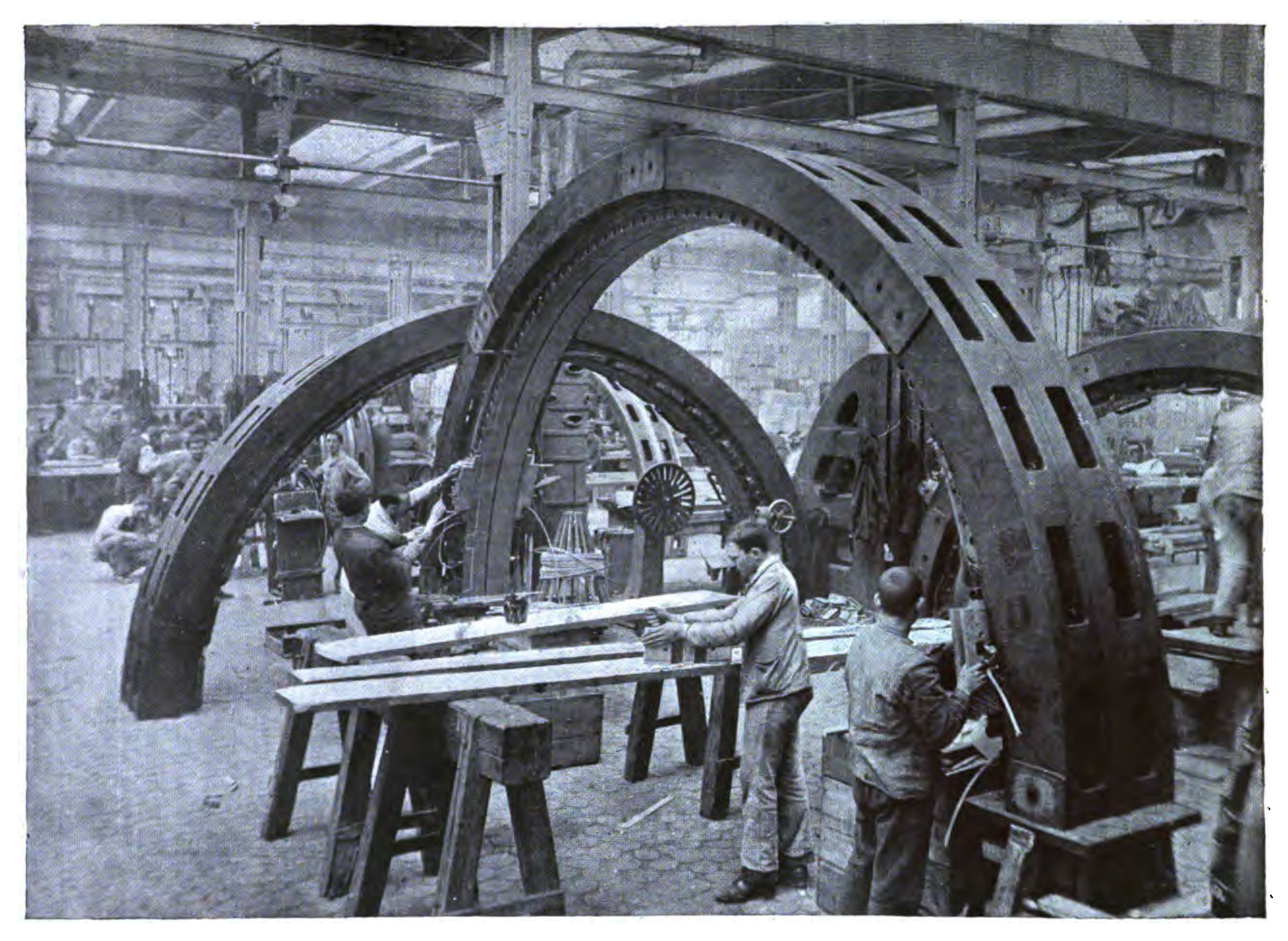


Fig 10. — Ateliers de bobinage des ateliers de MM. Brown, Boveri et Cie.

***

les tôles de l'induit en ne les laissant dépasser que du côté intérieur où doivent être logés les enroulements.

Les deux parties de la carcasse sont serrées entre elles par des boulons répartis sur deux rangs concentriques, le premier rang placé à l'extérieur des tôles et le second les traversant en même temps que les joues des flasques.

Les bras des deux étoiles supportant l'induit sont boulonnés sur les flasques.

Le diamètre extérieur de la carcasse de l'induit est de 7,86 m.

Le diamètre d'alésage de l'induit est de 6,92 m et la largeur totale des tôles de 33 cm.

Le noyau d'induit est partagé en quatre parties laissant entre elles des canaux pour la ventilation. Des ouvertures sont ménagées dans la carcasse de l'induit dans le même but.

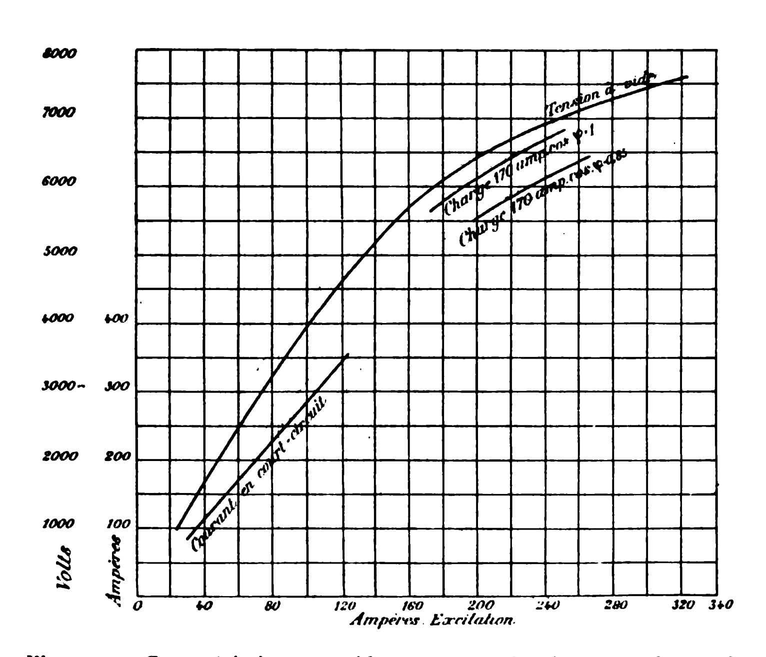


Fig. 11. — Caractéristiques à vide, en court-circuit et en charge de l'alternateur Brown, Boveri et Cie de 1 760 kilovolts-ampères.

L'enroulement de l'induit est réparti dans des trous oblongs, assez allongés et très voisins de l'entrefer. La surface interne de l'induit comprend 6 trous par pôle, soit ~~216~~ 432 trous.

Chaque phase comporte une bobine complète par paire de pôles ou 36 bobines en tout. Les bobines sont isolées de la masse par d'épais tubes en micanite.

Le nombre de spires est de 12 par bobine complète et de 6 par bobine simple ou par encoche.

La figure 10 est une vue des ateliers de bobinage de MM. Brown, Boveri et Cie.

Excitatrice. — L'excitatrice fournissant le courant d'excitation est une dynamo à courant continu de 25 kilowatts environ sous 110 volts ; elle est commandée directement par un petit moteur vertical à vapeur spécial tournant à la vitesse angulaire de 300 tours : minute.

L'excitatrice a 4 pôles ; l'induit denté est enroulé en tambour série. Les balais sont en charbon.

Le petit moteur actionnant l'excitatrice a été construit, comme le moteur à vapeur de l'alternateur, par MM. Sulzer frères.

C'est un machine verticale à un seul cylindre et à distribution par tiroirs à piston.

Ses dimensions sont :

Diamètre du cylindre	20 cm
Course du piston	20 »
Vitesse angulaire en tours-minute	300 »

Résultats d'essais. — Nous avons représenté sur la figure 11 les caractéristiques à vide en court-circuit et en charge de l'alternateur Brown, Boveri et Cie en fonction du courant d'excitation



La tension à vide de 6 000 volts aux bornes à la fréquence de 50 périodes est obtenue avec un courant d'excitation d'une intensité de 176 ampères.

En court-circuit, l'intensité du courant d'excitation nécessaire pour obtenir l'intensité normale de débit de 170 ampères par phase est de 60 ampères et correspond à une tension induite de 2 500 volts environ, soit un peu plus du tiers de la tension normale.

En pleine charge de 1 760 kilowatts avec un facteur de puissance égale à l'unité, le courant d'excitation nécessaire pour maintenir la tension de 6 000 volts aux bornes est de 193 ampères et correspond à une tension induite de 6 300 volts. En cas de décharge sans modification de vitesse, l'augmentation serait donc dans ce cas de 5 p. 100 seulement.

Avec un facteur de puissance de 0,85 pour une charge effective de 1 500 kilowatts, le courant d'excitation a une intensité de 231 ampères. La tension induite est dans ce cas de 6 700 volts; en cas de décharge à vitesse constante, l'augmentation de la tension serait de 11,5 p. 100.

La puissance perdue dans l'enroulement inducteur n'est dans ce dernier cas que d'un pour cent de la puissance apparente de l'alternateur.

La marge laissée pour l'excitation permet de porter la puissance effective de la machine à une valeur maxima de 1800 kilowatts avec un facteur de puissance de 0,8.

GROUPE ÉLECTROGÈNE DE 410 KILOVOLTS-AMPÈRES DE MM. BROWN, BOVERI ET Cie ET DE MM. BROMLEY FRÈRES

Le second alternateur de MM. Brown, Boveri et Cie est exposé dans la section russe où il est accouplé avec un moteur de MM. Bromley frères de Moscou.

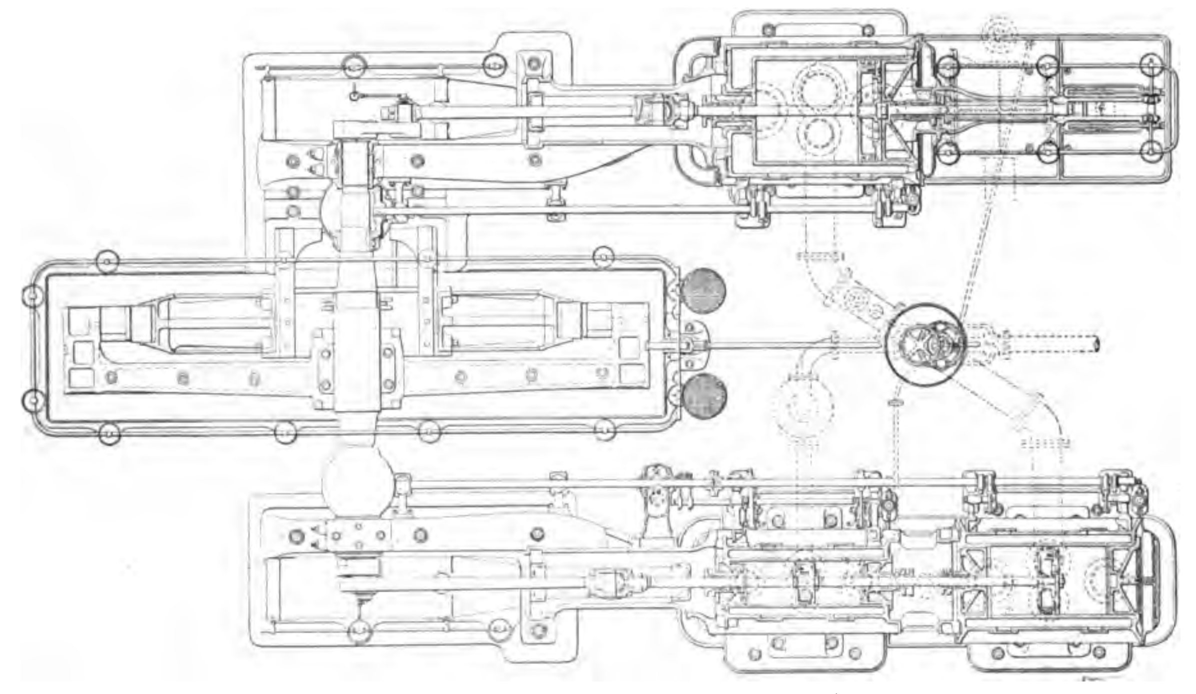


Fig. 1. — Vue en plan du groupe électrogène de MM. Bromley frères et de MM. Brown, Boveri et Cie.

Moteur a vapeur. — Le moteur à vapeur MM. Bromley frères est du type horizontal à triple expansion et à trois cylindres. Les figures 1, 2 et 3 en donnent une vue en plan et des coupes.



Le cylindre à haute pression et le cylindre à moyenne pression sont disposés en tandem d'un côté de la machine ; le cylindre à basse pression est situé de l'autre côté avec la

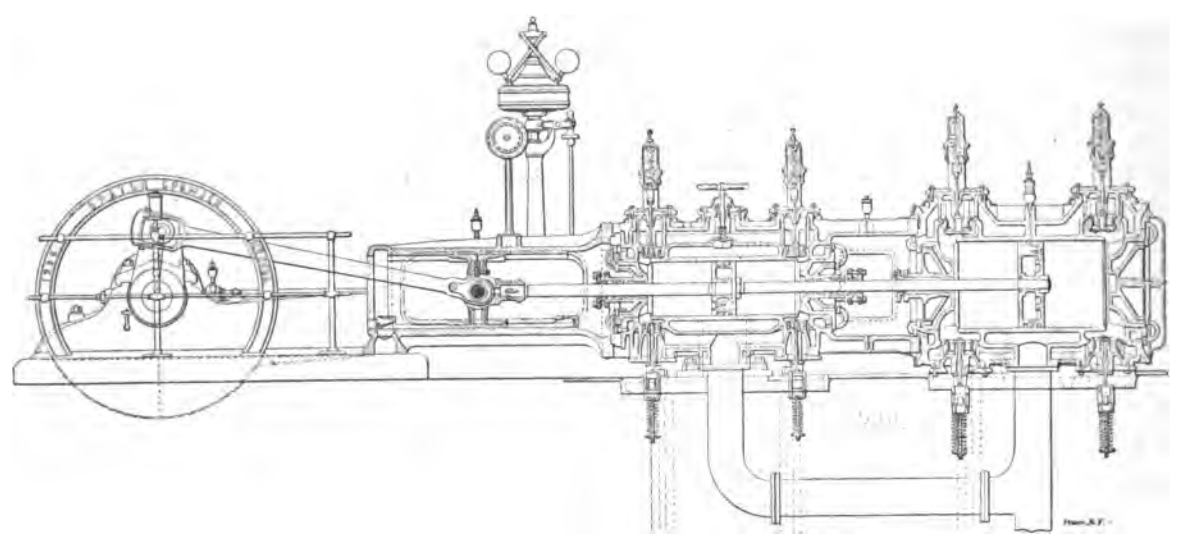


Fig. 2. — Coupe par l'axe des cylindres à haute et moyenne pression du moteur de MM. Bromley frères.

pompe à air placée dans le sous-sol et commandée par une bielle actionnée par un prolongement de la tige de piston du gros cylindre.

Les trois cylindres sont munis d'enveloppes de vapeur.

Les deux manivelles sont placées à 90° l'une de l'autre.

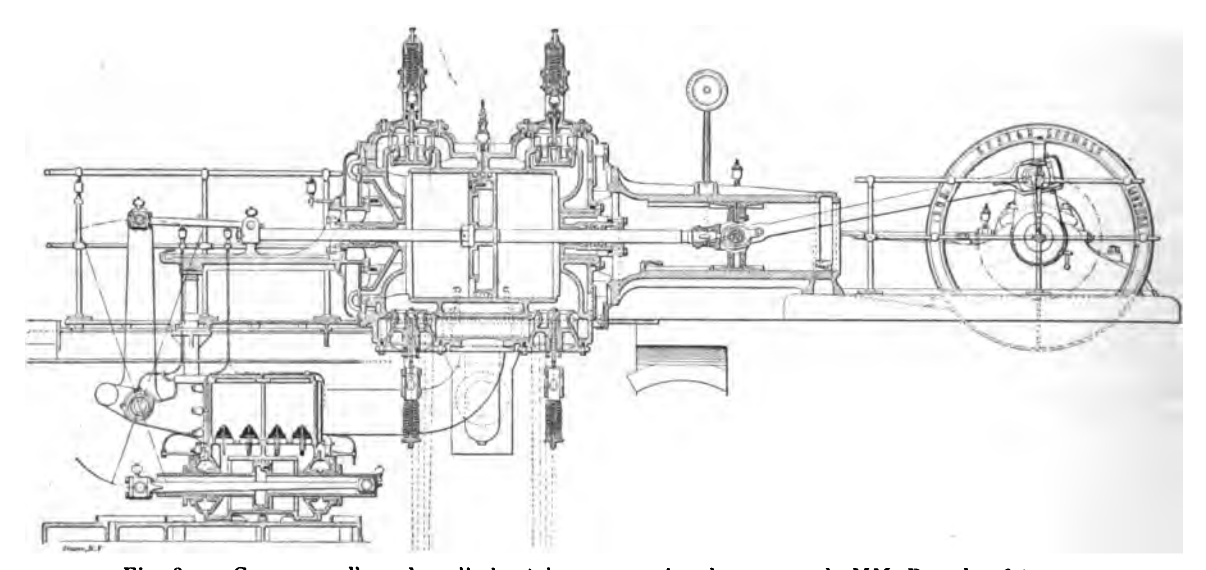


Fig. 3. — Coupe par l'axe du cylindre à basse pression du moteur de MM. Bromley frères.

La distribution se fait par soupapes, sans déclic, aussi bien pour l'admission que pour l'échappement.

L'admission dans le cylindre à haute pression est variable avec la position du régulateur ; l'échappement du petit cylindre et l'admission et l'échappement des cylindres à moyenne et à basse pression sont réglables à la main.

La distribution dans les trois cylindres est commandée par deux arbres, un de chaque côté, parallèles aux axes des cylindres et actionnés directement par l'arbre principal. Ces arbres portent des cames à calage variable à volonté commandant les soupapes d'admission et d'échappement des deux autres.

Les soupapes d'admission du petit cylindre sont commandées par un dispositif spécial représenté sur les figures 4 et 5.

Sur l'arbre de distribution, à chaque extrémité du petit cylindre, est calé un petit excentrique dont le collier porte un axe B servant d'articulation à la biellette de commande de la soupape d'échappement et un bras C articulé à la biellette de commande de la soupape d'admission.

Le bras C repose sur une chappe D, soutenue par un axe fixé à un bras E calé sur l'arbre F relié avec le régulateur par le système de liaison indiqué sur la figure 4, de façon à ce que la tige du régulateur, s'élevant ou s'abaissant, l'extrémité libre du levier E se déplace sur l'arc *ab*.

La direction du bras C changeant ainsi avec la position du régulateur, l'ovale décrit par l'axe de la biellette d'échappement se déplace comme l'indique la figure 4 où quelques-uns des ovales sont représentés en traits ponctués.

On voit facilement que la période d'échappement est pratique et que la compression décroît avec la charge.

L'extrémité du levier C fixé à la biellette de commande de la soupape d'admission décrit, pour les différentes positions du régulateur, les chemins indiqués par les lignes ponctuées et, comme la soupape est ouverte lorsque le centre de l'axe d'articulation est au-dessus de la ligne *e d*, il en résulte que la durée de l'admission pourra varier depuis zéro, lorsque l'axe est complètement au-dessus de cette ligne et à droite, jusqu'à environ 60 p. 100 de la course, lorsque le levier est moins incliné sur l'horizontale.

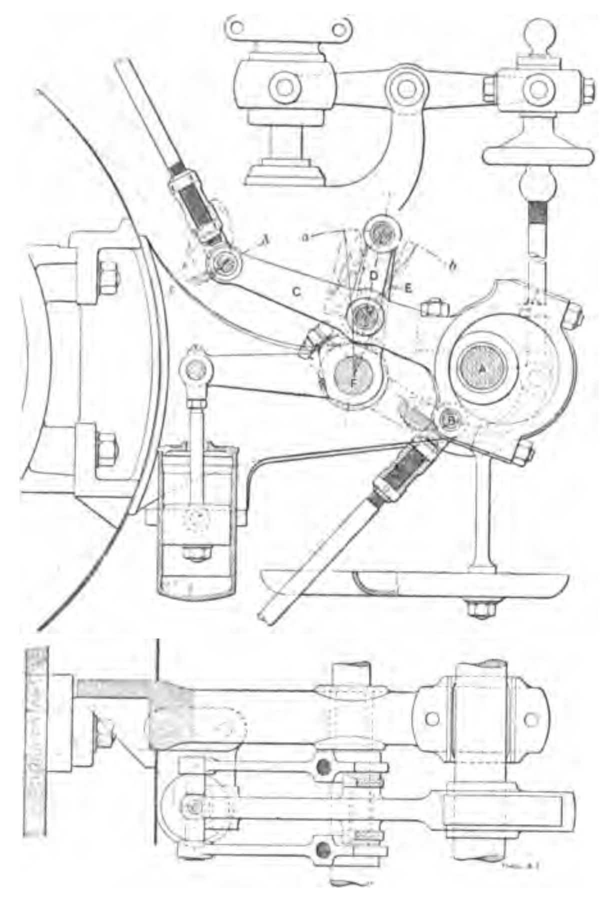


Fig. 4 et 5. — Coupe et vue en plan de la distribution du cylindre à haute pression du moteur de MM. Bromley frères.

Pour obtenir un repos prompt et sans bruit de la soupape, M. Bromley emploie une came d'une forme spéciale. La soupape est ouverte par le mouvement en pente de la biellette, la soulevant sur la caisse comme sur un support. Au début, l'extrémité du levier reste sur la partie intérieure de la came : l'élévation est faible et la soupape démarre doucement; mais un changement plus brusque du profil de la came détermine ensuite une rapide élévation de la soupape. La fermeture de la soupape s'effectue d'une manière analogue, mais en ordre inverse ; la soupape retombe d'abord très rapidement, puis est arrêtée brusquement et vient reposer sans bruit sur son siège.

Les principales dimensions de la machine de MM. Bromley frères sont les suivantes :

Diamètre du cylindre à haute pression	34 cm
Diamètre du cylindre à moyenne pression.	52 »
Diamètre du cylindre à basse pression	82 »
Course commune des pistons.	81 »
Vitesse moyenne des pistons par seconde	240 »

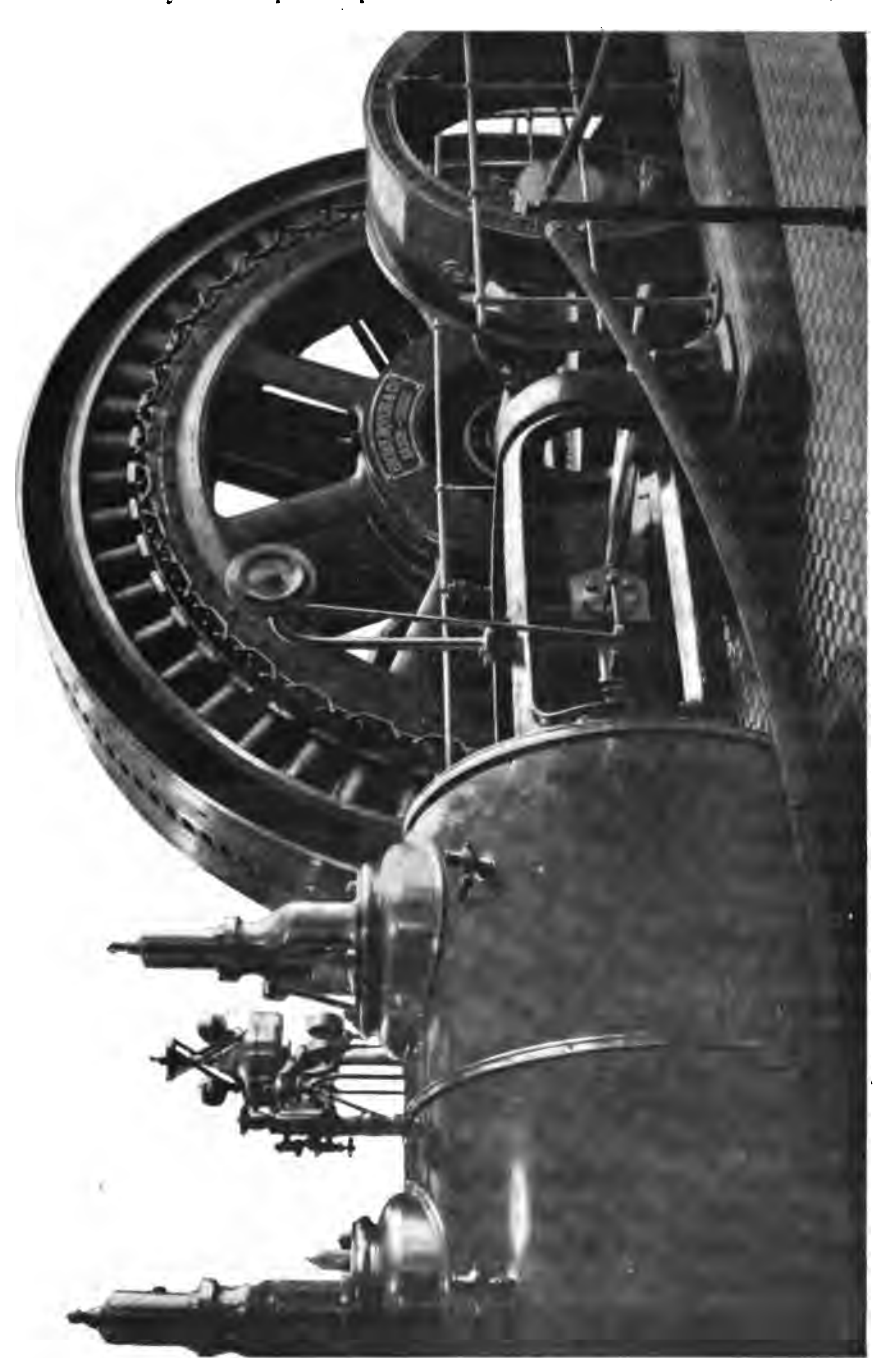


Fig. 6. — Groupe électrogène de 410 kilovolts-ampères de MM. Bromley frères et de MM. Brown, Boveri et Cie.

La vitesse normale de la machine est de 92 tours par minute et la pression de 10 à 12 kg : cm². La puissance normale de la machine est de 350 chevaux indiqués.

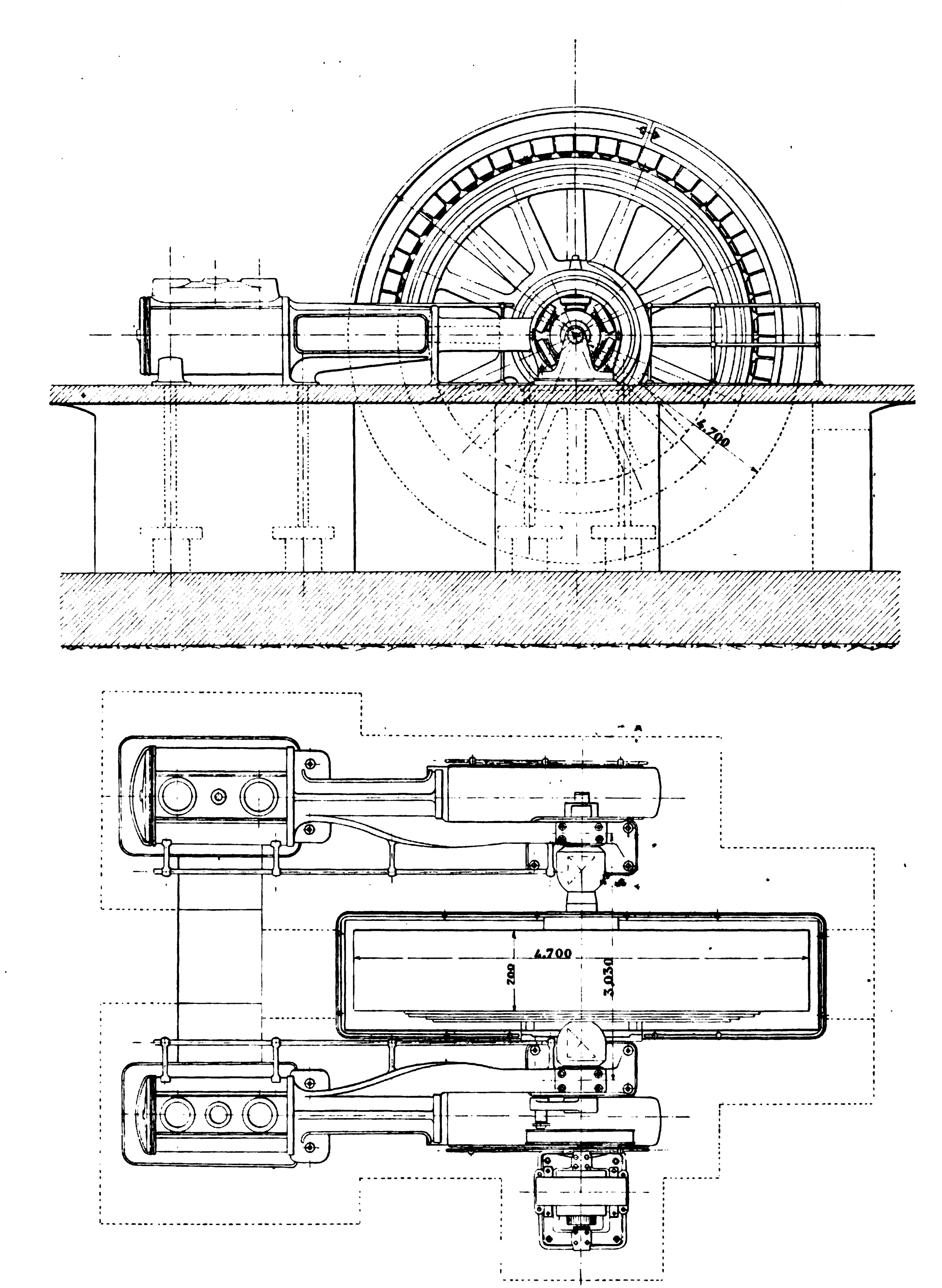


Fig. 7 et 8. — Vue en plan et de face de l'alternateur Brown, Boveri et Cie de 410 kilovolts-ampères.

Alternateur. — L'alternateur triphasé actionné par le moteur à vapeur de M. Bromley est d'un type couramment employé par MM. Brown, Boveri et C[ie] lorsque la puissance de la machine n'est pas trop grande et lorsque la disposition de la machine à vapeur s'y prête. Ce type est celui à inducteur mobile placé extérieurement.

Avec ce type, l'effet magnétique de l'inducteur sur l'induit s'exerce en sens contraire de la force centrifuge et diminue par suite le travail d'élasticité du métal.

La puissance apparente de l'alternateur Brown, Boveri et C[ie] à induit fixe intérieur, est

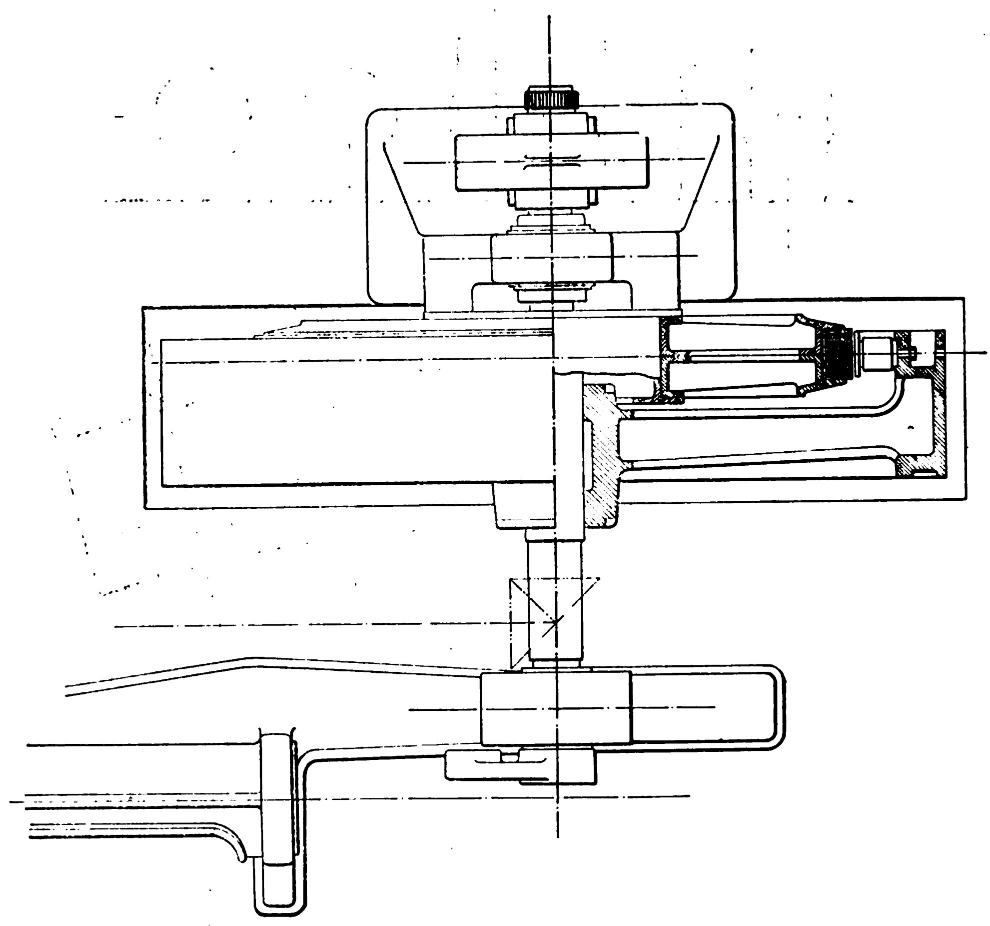


Fig. 9. — Vue en plan avec coupe partielle d'un alternateur Brown, Boveri et C[ie] à inducteur extérieur.

de 410 kilovolts-ampères avec un facteur de puissance égal ou supérieur à 0,85, ce qui correspond à une puissance effective minima de 350 kilowatts ou 475 chevaux.

Cette machine est à basse tension, 200 volts aux bornes et l'enroulement induit est disposé en étoile. L'intensité du courant par phase est de 1200 ampères.

A vitesse angulaire 92,5 tours par minute la fréquence est de 40 périodes et correspond à un nombre de pôles de 52.

Utilisée comme alternateur à courant alternatif simple, la puissance de la machine est de 240 kilowatts avec un facteur de puissance égal à l'unité.

La figure 6 est une photographie de cet alternateur et les figures 7 et 8 des vues de face et en plan de la même machine.

Inducteur. — Les pôles inducteurs en fer sont fixés (fig. 9, 10 et 11) à l'intérieur d'un vo-



lant à large jante reliée au moyeu par une série des bras doubles désaxés. Le serrage du moyeu sur l'arbre est obtenu par deux frettes posées à chaud et l'entraînement se fait par deux clavettes à 90°.

La fixation des pôles se fait comme pour la machine de 1500 kilowatts décrite plus haut; toutefois les vis de fixation des pôles, au lieu de traverser toute la jante, viennent aboutir

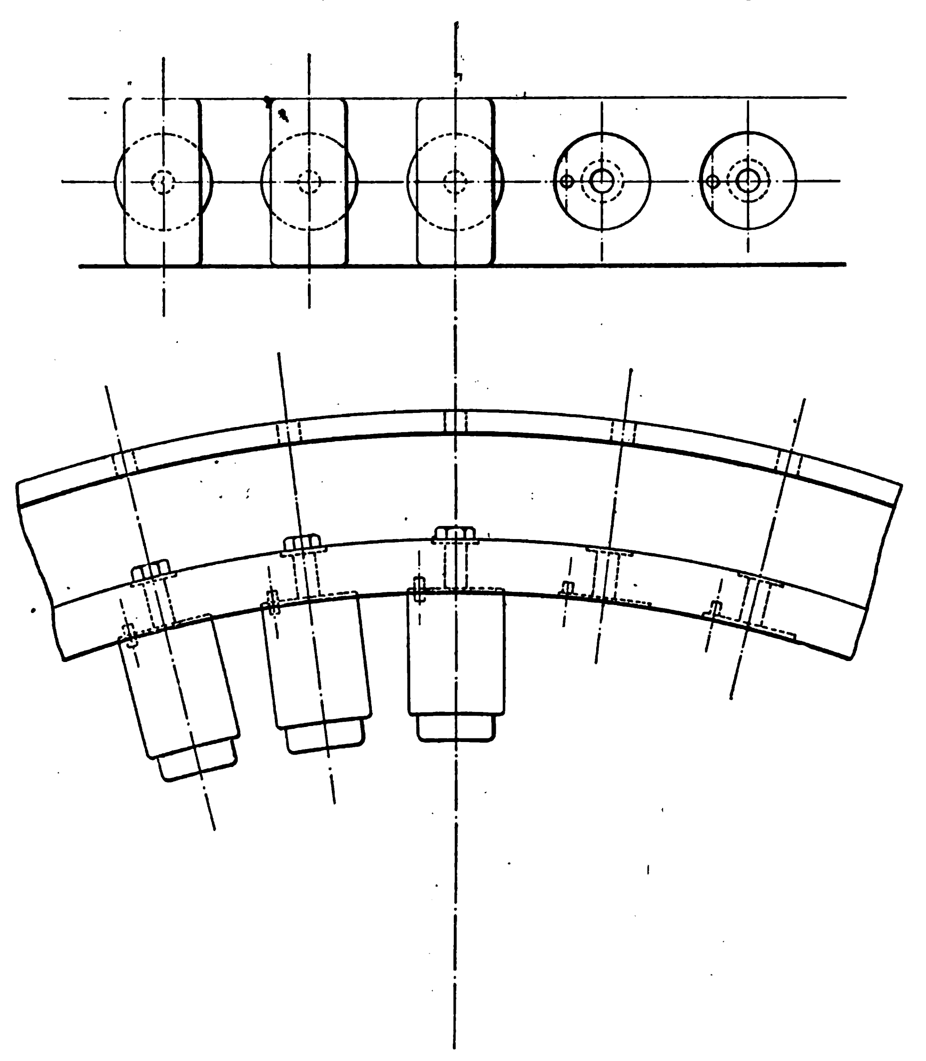


Fig. 10 et 11. — Détails de construction des inducteurs des alternateurs Brown, Boveri et Cie du type à induit fixe intérieur.

à une profonde gorge ménagée dans l'épaisseur de manière à éviter de laisser dépasser les têtes de vis.

Le diamètre extérieur de la jante est de 4,70 m et sa largeur totale de 70 cm. Les épanouissements polaires ont encore une forme rectangulaire à bords légèrement arrondis et la largeur du pôle est d'environ les 3/5 de celle du pas.

Le diamètre d'alésage est de 3,60 m et la largeur des pôles parallèlement à l'axe de la machine de 30 cm.

L'entrefer a une valeur de 5 mm.

L'enroulement inducteur est en fil rond et comporte 80 spires par bobine.

****



Toutes les bobines sont en série et la résistance du circuit ainsi formé est de 0,95 ohm.

Induit. — La carcasse de l'armature est en deux pièces formées d'une sorte de caisse annulaire supportée par une étoile à branches réunies par des boulons et reposant sur deux demi-anneaux en fonte.

Le demi-anneau inférieur se prolonge jusqu'au palier voisin avec lequel il fait corps. Le demi-anneau supérieur a juste la largeur de la carcasse de l'induit et peut coulisser sur la partie supérieure du précédent à l'aide de vis de rappel placées sur le palier du côté opposé au moyeu du volant.

On peut donc, par ce procédé, en dévissant les boulons d'assemblage de l'armature en tirer facilement une moitié hors de son emplacement avec le demi-anneau supérieur et visiter ainsi la moitié de l'induit qui se trouve sur le demi-anneau supérieur.

Comme la carcasse de l'induit peut tourner facilement autour de l'anneau qui la supporte, on peut amener facilement la seconde partie de l'induit à la partie supérieure et la déplacer de même, pour la visiter. Le diamètre extérieur de l'induit est de 3,588 m et la largeur de l'anneau induit en tôles feuilletées de 30 cm.

L'enroulement induit se compose de barres de cuivre rigides isolées logées dans des trous pratiqués dans le voisinage de l'entrefer. Le nombre de trous est de 156 où 3 par pôles. Les 52 barres d'une même phase sont réunies entre elles par des lames de cuivre.

Excitatrice. — La puissance nécessaire à l'excitation est de 10 kilowatts environ.

Résultats d'essais. — L'intensité du courant d'excitation nécessaire pour obtenir la tension normale de 200 volts aux bornes est de 65 ampères.

Celle du courant d'excitation capable de créer dans l'alternateur en court-circuit, l'intensité normale de 1200 ampères, est de 35 ampères.

En pleine charge, avec une charge ou un facteur de puissance égal à 0,8 l'intensité du courant d'excitation calculé serait de 100 ampères, c'est-à-dire la somme des deux autres.

TREUIL ROULANT ÉLECTRIQUE, SYSTÈME SINGRE (1)

Ce système de treuil est caractérisé par le dispositif d'entraînement de l'arbre du tambour par l'arbre du moteur électrique, dispositif qui permet un embrayage progressif sans chocs ni secousses et un débrayage rapide avec arrêt immédiat du tambour.

Le treuil exposé, qui a fonctionné pendant trois années, de 1896 à 1900 dans les magasins des Docks-Entrepôts du Havre, est monté sur un bâti de fonte supporté par quatre roues montées sur deux essieux dont l'un, à double articulation, permet de faire évoluer facilement l'appareil. Le tambour d'enroulement du câble de traction est disposé horizontalement à l'une des extrémités du bâti ; son diamètre d'enroulement est de 47 cm ; le diamètre du câble métallique est de 1,3 cm. Le moteur est placé vers l'autre extrémité, son axe dans le prolongement de celui du tambour et reposant sur deux paliers indépendants ; c'est un moteur du type Brown à courants diphasés de 13 chevaux effectifs, tournant avec une vitesse angulaire de 800 t : m. Le mouvement de ce moteur est transmis au tambour par le dispositif d'entraînement, dont nous parlions plus haut, qui donne une première réduction de vitesse et par un train d'engrenages formant la seconde réduction de vitesse ; le mécanisme d'entraînement est situé à une extrémité du bâti du treuil ; le train d'engrenages, enfermé dans un carter pour le mettre à l'abri des poussières, est situé à l'autre

(1) Exposé par la Compagnie électro-mécanique, groupe V, classe 23, Palais La Bourdonnais.



extrémité. L'ensemble du treuil est ainsi de forme très ramassée et le moteur se trouve bien protégé contre les chocs.

Les figures 1 à 3 représentent le mécanisme d'entraînement : la figure 1 en donne la coupe par le plan vertical passant par l'axe g du moteur ; la figure 2 en montre une vue par bout et la figure 3 une coupe suivant le plan vertical yz de la figure 1.

Ce mécanisme comprend :

1° Un galet G claveté sur l'arbre g du moteur et pouvant venir en contact, suivant les génératrices o et p, avec deux poulies A et B ; une courroie élastique C entourant les deux poulies et une seconde courroie élastique F placée sur les prolongements des moyeux de ces poulies.

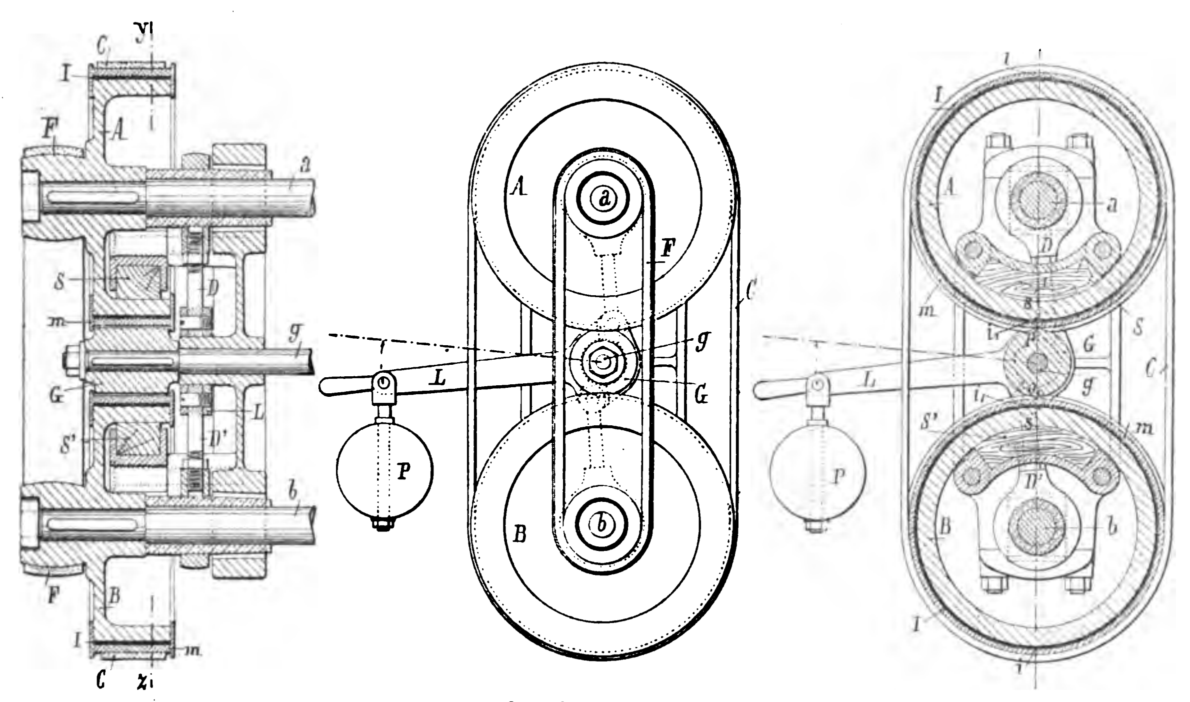


Fig. 1 à 3. — Treuil roulant électrique, système Singre.

Les jantes des poulies A et B sont recouvertes chacune d'un cuir I convenablement lubrifié et d'un bandage métallique m monté fou sur la jante. La courroie C tend à rapprocher ces deux bandages et la courroie F tend à rapprocher leurs jantes ; cette dernière courroie a encore pour but d'atténuer les réactions dans les coussinets des arbres a et b.

A l'intérieur des poulies se trouvent des sabots de freinage S et S' montés sur des supports fixes D et D'.

2° Un dispositif permettant de régler la pression exercée par les courroies et constitué par un levier L articulé librement sur l'arbre g et relié aux coussinets des arbres a et b par des bielles DD' ; en manœuvrant le levier L de bas en haut les arbres a et b se rapprochent et les bandages des poulies A et B se trouvent serrés contre le galet G ; en le laissant s'abaisser sous l'action du contrepoids P, les arbres s'écartent et les surfaces internes des poulies viennent frotter contre les sabots de freinage.

Le fonctionnement de ce mécanisme produit l'embrayage de la manière suivante :

a) Dès que, par suite de la manœuvre du levier, les bandages m viennent en contact avec le galet G, les pressions résultant du serrage de la courroie C en i et i sont reportées



sur le galet aux points o et p ; les bandages deviennent ainsi libres et se trouvent entraînés par le galet ; comme la masse de ces bandages est faible, cet entraînement se produit immédiatement sans glissement appréciable sur les génératrices de contact.

b) La manœuvre du levier continuant, les jantes des poulies A et B, sollicitées par la courroie F, viennent appuyer à l'intérieur des bandages *mm* aux points $i'i'$; les poulies sont alors entraînées progressivement par les bandages et cet entraînement se produit par un glissement sur toute la surface de la jante et du bandage sans aucun glissement en o et p, ce qui supprime toute détérioration du galet.

Le débrayage s'effectue par les mêmes phases, se succédant en sens inverse ; le frottement des poulies contre les sabots de freinage assure l'arrêt rapide de celles-ci.

Le moteur électrique qui commande l'appareil est constamment en marche. Pour éviter une variation trop brusque de la puissance qui lui est demandée au moment de l'embrayage ou du débrayage, un volant très pesant est monté sur son arbre.

Les essais faits sur un treuil commandé par un moteur à courants triphasés ont donné les résultats suivants :

1° La puissance absorbée par le moteur tournant à vide, est de 1 140 watts, soit 1,54 cheval ;

2° Pour une puissance électrique absorbée de 13,5 chevaux le travail au frein est de 12 chevaux, ce qui correspond à un rendement de 0,89 ;

3° Pour faire marcher le treuil à vide il faut 1 850 watts, soit 2,52 chevaux ; la puissance absorbée par le treuil seul est donc de $1\,850 - 1\,140 = 710$ watts ou 0,97 cheval ;

4° Pour élever une charge de 500 kg avec une vitesse de 1,6 m : sec, il faut une puissance de 9 690 watts, soit 13,2 chevaux ; la puissance utile étant alors de $500 \times 1,60$ kgm : sec. ou 10,65 chevaux, le rendement global du treuil est donc $\frac{10,65}{13,20} = 0,81$. Comme le rendement du moteur est de 0,89, on en conclut que le rendement de la double transmission est $\frac{0,81}{0,89} = 0,91$;

5° Au démarrage du treuil sous charge, la puissance dépensée ne dépasse pas 14 000 watts.

MOTEUR POUR AUTOMOBILE DE LA VEREINIGTE ELEKTRICITÆTS ACTIEN-GESELLSCHAFT DE VIENNE (1)

Ce moteur est du type A.5, à quatre pôles avec enroulement en série. Les figures 1 et 2 nous le montrent ouvert et fermé. On voit de suite qu'il répond aux qualités essentielles suivantes : volume minimum et faible poids : 135 kg. En marche normale, il développe 3 chevaux et demi à raison de 500 t : m, sous 80 volts. Le rendement est de 80 p. 100. La carcasse en acier doux est complètement fermée et composée de deux parties réunies à charnières. Elle est traversée par l'arbre du moteur et porte des coussinets de bronze lubrifiés à la graisse. Les fils inducteurs sont enroulés sur des bobines séparées qu'on enfile sur les saillies polaires. L'armature est munie de deux collecteurs et deux enroulements ; son noyau est formé de tôle noire de premier choix ; les fils, logés dans des rainures et isolés au mica, sont solidement calés au moyen d'un isolant fibreux qui empêche le désenroulement. Les lames des collecteurs sont en cuivre dur ; on y fixe les extrémités des bobines induites avec des vis munies de contre-écrous. On a employé des balais en

(1) Exposé groupe VI, classe 32, Palais du Champ de Mars, côté Suffren.



charbon ; une trappe permet d'y accéder facilement. Ces dispositions protègent le moteur contre la poussière et l'humidité ; de plus, elles permettent de visiter tous les organes et de les remplacer rapidement en cas d'accident.

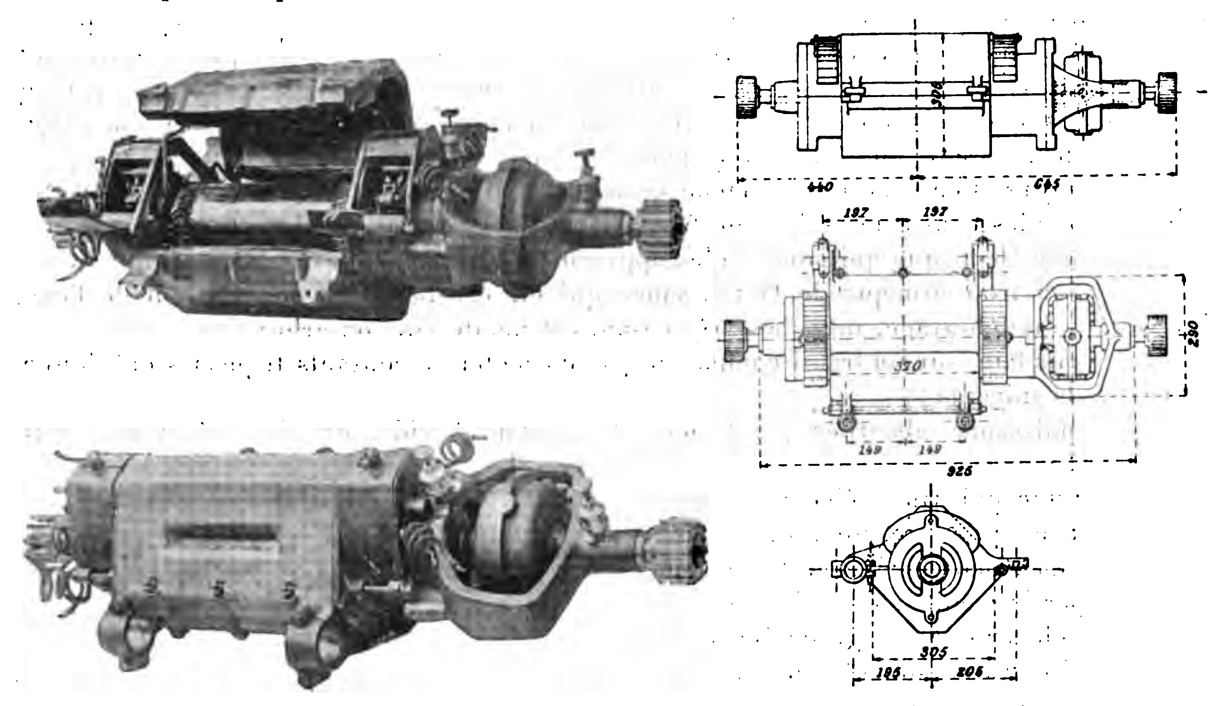


Fig. 1 et 2. — Moteur d'automobile.

Fig. 3 à 5. — Moteur d'automobile.

Pour assurer l'indépendance des roues en voie courbe et dans les virages, le moteur agit par l'intermédiaire d'un mécanisme différentiel dont le détail se voit figures 3 à 5. Son arbre porte à ses extrémités deux pignons dentés en bronze, qui engrènent avec des roues en fonte plus grandes clavetées sur l'essieu de la voiture : le rapport est 1/6. Celles-ci ont

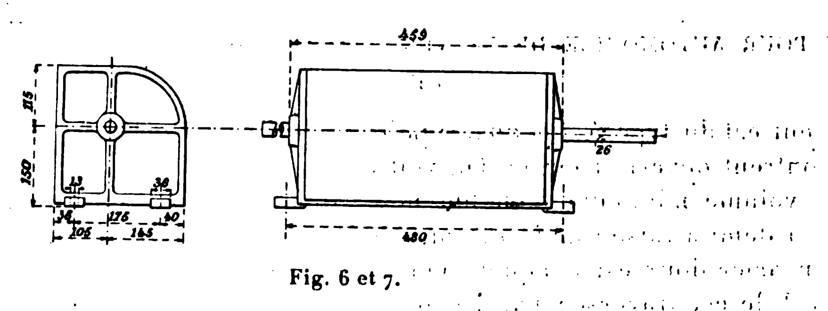


Fig. 6 et 7.

leurs dents distribuées sur leur pourtour intérieur, tandis que la surface extérieure est embrassée par des freins à bandages qui peuvent être renforcés par des freins électriques, pour les arrêts rapides. Afin d'assurer à tout ce mécanisme une rigidité parfaite et surtout conserver bien constante la distance entre l'axe de l'armature et l'essieu, ce dernier traverse deux œilletons faisant corps avec l'enveloppe magnétique que trois solides ressorts appuient sur le cadre de la voiture.

On règle les vitesses par le couplage en série ou en quantité des deux enroulements ; on peut aussi n'employer que la moitié de la batterie avec des résistances : ce procédé

convient surtout au démarrage. Le maximum de vitesse réalisée normalement est d'environ 25 à 30 km à l'heure.

Les figures 6 et 7 nous donnent les dimensions du contrôleur qui est renfermé dans une boîte en aluminium. Il est placé sous le siège du conducteur qui l'actionne, soit par un volant, soit par un levier. Sur l'axe du contrôleur sont montés les différents plots de contact parfaitement isolés les uns des autres : ces plots sont des segments en laiton portant à l'extrémité où se produit la rupture du courant une rondelle de cuivre, peu altérable sous l'action de l'étincelle et pouvant d'ailleurs, en cas d'usure, être facilement remplacée. On peut réaliser 5 combinaisons pour la marche en avant; 2 pour la marche en arrière et enfin 3 pour le freinage électrique.

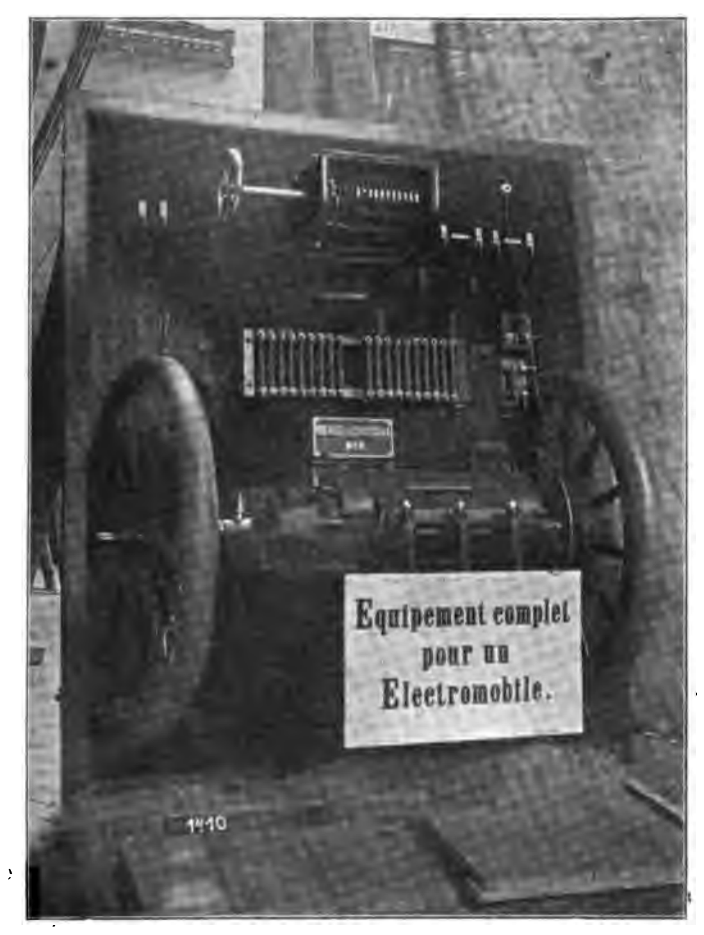


Fig. 8. — Ensemble de l'équipement.

Signalons encore : l'interrupteur de sûreté, les fiches pour la charge, les résistances et le plomb fusible. L'interrupteur est un appareil très robuste, logé dans une boîte hermétiquement close et qui se manœuvre en même temps que les freins à bandages. Pour éviter les interversions de charge, on a donné aux fiches de contact des dimensions très différentes. Les résistances roulées en spirales sont en nickéline.

La figure 8 donne l'équipement complet pour un électromobile.

Ce moteur a mérité non seulement une médaille d'or à l'Exposition de Berlin en 1899, mais encore le premier prix à la course internationale qui eut lieu en même temps. Ajoutons que les essais faits sur un moteur de 5 chevaux, à 700 t : m, sous 150 volts, batteries en tension, ont donné les résultats suivants : avec les batteries en parallèle et les collecteurs en tension ou en parallèle, les rendements ont été de 0,83 pour 1,8 cheval et 0,81 pour 3 chevaux; avec les batteries en tension et les collecteurs en tension ou en quantité, les rendements ont atteint 0,86 pour 5 chevaux et 0,85 pour 10 chevaux. Ce sont donc d'excellentes conditions de fonctionnement.

J. Reyval.

FORCE ÉLECTRIQUE SUR L'UNITÉ DE SURFACE

Dans un champ électrique en équilibre, l'expression des composantes des pressions, suivant les axes *ox*, *oy*, *oz*, par unité de surface, en un point où l'intensité du champ a pour composantes X, Y, Z, est donnée par :

$$P_x = \frac{k}{8\pi}\left(2X(lX + mY + nZ) - l(X^2 + Y^2 + Z^2)\right)$$

et deux autres équations en P_y et P_z qui s'en déduisent par permutation circulaire ; l, m, n étant les cosinus directeurs de la normale à la surface, dirigée du milieu qui reçoit l'action du champ vers le champ lui-même. Considérons la formule qui donne P_x.

Cette formule peut se mettre sous la forme :

$$P_x = \frac{k}{2}\left(\sigma X + \tau_z Y - \tau_y Z\right),$$

si l'on pose

$$4\pi\sigma = lX + mY + nZ$$

$$4\pi\tau_x = nY - mZ; \quad 4\pi\tau_y = lZ - nX; \quad 4\pi\tau_z = mX - lY.$$

On trouverait pour P_y et P_z des formules analogues, qu'il est inutile d'écrire.

Sous cette forme, on voit que la force P_x P_y P_z est la moitié de la résultante de deux forces ; l'une $k\sigma X$, $k\sigma Y$, $k\sigma Z$, est l'action qu'exercerait un champ d'intensité X, Y, Z, sur une quantité fictive d'électricité égale à $k\sigma$; l'autre qui a pour composantes trois expressions analogues à $k(\tau_z Y - \tau_y Z)$ est l'action qu'exercerait un champ magnétique d'intensité X, Y, Z sur un élément de courant dont la densité superficielle serait $k\tau_x$, $k\tau_y$ $k\tau_z$.

L'existence de la première force est bien évidente. En effet, si l'élément de surface ds sur lequel on examine la pression faisait partie d'un conducteur, la densité de la quantité d'électricité y serait bien égale à $k\sigma$; et la pression agissant sur cet élément serait bien égale à $\frac{1}{2} h. k\sigma$, h étant l'intensité du champ, c'est-à-dire la résultante des vecteurs X, Y, Z. Elle pouvait donc être prévue ; dans ce cas, h est dirigé suivant la normale à la surface et les masses vectorielles τ_x τ_y τ_z sont nulles. Mais si l'on admet que les pressions sur un élément de surface équipotentielle dépendent de h et ne dépendent pas de la nature de la substance constituant le conducteur, on est conduit à admettre que la force $\frac{1}{2} h\ k\sigma$ doit agir, par unité de surface, sur chaque élément de surface équipotentielle du champ. On a dès lors une démonstration de l'existence de cette force. Cette démonstration a été donnée, en particulier, par M. Vaschy dans son traité d'électricité et de magnétisme.

Cet auteur considère alors un tube de force infiniment petit limité à deux sections équipotentielles et il établit l'existence des pressions latérales, en cherchant les conditions d'équilibre de ce tube. Il fait appel, dans ce but, aux principes de l'hydrostatique.

L'objet de la présente note est de faire la même étude, en suivant la voie que suggèrent les expressions données ci-dessus et la considération des masses vectorielles τ_x τ_y τ_z.

On peut démontrer, en effet, d'une façon élémentaire, l'équivalence des courants et des aimants au point de vue de l'action subie. Admettons ce résultat et servons nous en, pour déduire les pressions latérales de l'existence des tractions qui s'exercent sur les bases.



Il faut alors considérer cette équivalence comme exprimant qu'il y a équilibre entre deux groupes connus de forces et faire abstraction de l'origine physique de ces forces. Dans le cas d'un tube de force limité à deux sections équipotentielles, si, d'une façon générale, h désigne l'intensité du champ, qui, ici, serait donc un champ magnétique, la densité σ sur les bases serait donnée par

$$4\pi\sigma = \pm h$$

et la densité vectorielle τ y serait nulle ; au contraire, la densité σ serait nulle sur la surface latérale et la densité superficielle de masse vectorielle τ y serait donnée par

$$4\pi\tau = h$$

elle serait tangente à la courbe d'intersection de la surface latérale et de la surface équipotentielle passant au point considéré. Cette densité de masse vectorielle est justement la densité d'intensité de courant en ce point, qu'il faut imaginer pour établir sur la surface latérale un courant solénoïdal équivalent à l'aimant qui serait constitué par les masses magnétiques σ réparties sur les bases.

Donc, pour faire équilibre aux forces $h\sigma$ s'exerçant sur les bases, il suffit d'appliquer des forces électromagnétiques $h\tau$ sur la surface latérale, normalement à cette surface.

Numériquement, on a $\sigma = \tau$. Par suite, en un même point, la pression par unité de surface sur la surface latérale est égale à la traction par unité de surface sur une base équipotentielle. Pour justifier l'expression de pression que nous venons d'employer, il suffit de considérer la figure ci-jointe, où les signes — et + sont ceux du magnétisme réparti sur les bases, lorsque l'intensité h du champ a la direction figurée, où T et T′ désignent les tractions sur les bases, et où l'intensité du courant solénoïdal capable de contre-balancer l'action des bases est représentée par i, avec une flèche précisant le sens. La force électromagnétique exercée sur ce courant par le champ h est alors dirigée vers l'intérieur du tube.

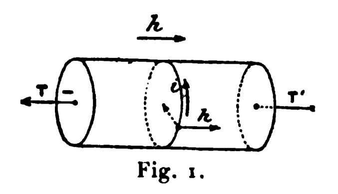


Fig. 1.

Dans le cas d'un diélectrique que nous avons à considérer, les tractions sont égales à $\frac{1}{2} h\sigma$; donc les pressions latérales doivent être égales à $\frac{1}{2} h\tau$.

Une fois connues les pressions qui s'exercent sur des surfaces normales aux lignes de force ou tangentes à ces lignes, il est facile, comme l'on sait, d'en déduire les pressions sur un élément de direction quelconque. On retombe ainsi sur les formules analytiques que nous avons écrites en commençant.

En résumé, si l'on suppose un champ électrostatique, les forces par unité de surface qui doivent s'exercer sur les surfaces équipotentielles (ou pour mieux dire les tractions), font connaître les pressions qui doivent s'exercer sur les parois latérales des tubes de force, si l'on fait appel aux résultats mathématiques que donne la théorie de l'équivalence des aimants et des solénoïdes.

Inversement, considérons un champ magnétique et cherchons la force magnétique sur l'unité de surface : envisageons un tube de force infiniment délié. Imaginons sur la surface latérale de ce tube un courant dont la densité superficielle soit τ, cette quantité étant déterminée par l'équation $4\pi\tau = h$, où h représente l'intensité du champ au point considéré. On peut choisir le sens de ce courant de manière que l'intensité du champ soit réduite à zéro à l'intérieur du tube. A l'extérieur, l'intensité ne sera pas altérée, puisque le tube doit se fermer sur lui-même. Il est alors facile de voir que chaque élément de la surface latérale

est soumis à une pression égale à $\frac{1}{2} h\tau$. En effet, l'action magnétique [1] à l'intérieur du tube tout près d'un élément superficiel est égale à 0, tandis qu'elle est égale à h en un point placé à l'extérieur symétriquement par rapport à l'élément superficiel ; donc l'action due à l'élément est égale à l'action due au reste du champ; par suite, l'action que cet élément subit de la part du champ est une pression égale à $\frac{1}{2} h\tau$. Si l'on considère alors une portion de ce tube de force, limitée par deux surfaces équipotentielles, il faudra, comme on l'a vu plus haut, supposer sur ces bases des tractions $\frac{1}{2} h\sigma$. Mais ces pressions et tractions doivent, évidemment, ne dépendre que de l'intensité du champ h en chaque point et nullement de la nature de la substance plus ou moins conductrice à travers laquelle on fait circuler le courant de densité superficielle τ; par suite, ces pressions et tractions doivent s'exercer en chaque point du champ, indépendamment de l'existence du courant que nous avions imaginé.

On voit donc que l'on peut indifféremment raisonner sur un champ électrostatique ou sur un champ électromagnétique et que la décomposition la plus rationnelle de P_x en deux composantes est celle qui consiste à la considérer comme la somme des deux parties :

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{k}{4\pi}\left(lX + mY + nZ\right)X,$$

et

$$\frac{1}{2} \cdot \left[\frac{k}{4\pi}(mX - lY)Y - \frac{k}{4\pi}(lZ - nX)Z\right],$$

qui seraient dues respectivement l'une à des masses superficielles « newtoniennes » ; l'autre à des masses vectorielles superficielles « laplaciennes ».

J.-B. Pomey.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

MOTEURS

Sur la décomposition du champ alternatif d'un moteur monophasé en champs tournants, par **F. Eichberg**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXI, p. 484, 14 juin 1900.

On a souvent utilisé la décomposition d'un champ alternatif en deux champs tournants pour expliquer le fonctionnement des moteurs monophasés. On décompose le champ alternatif B sin $2\pi nt$ en deux champs constants d'intensité $\frac{B}{2}$ tournant à la vitesse de $\frac{n}{p}$ tours par seconde, en sens inverse l'un de l'autre. p est le nombre de paires de pôles. Cette décomposition, qui est rigoureuse lorsque l'armature est immobile, perd sa valeur lorsque la vitesse croît : au voisinage du synchronisme, le moteur se comporte comme un moteur avec un seul champ tournant. Nous nous proposons d'exposer une décomposition théoriquement exacte d'un champ alternatif en deux champs tournants, et nous montrerons que les résultats obtenus coïncident avec ceux de la pratique et donnent une idée nette de la théorie des moteurs monophasés.

1. Au lieu de décomposer le champ alternatif en deux champs tournants, nous décomposerons les ampères-tours qui produisent ce champ. Soit

$$IN \sin 2\pi nt$$

(1) Sur une masse vectorielle unité parallèle à τ et infiniment voisine. De même qu'on raisonne parfois sur l'unité de masse magnétique, nous croyons pouvoir raisonner sur un élément de courant unité.

la valeur instantanée de ces ampères-tours. Nous les décomposons en

$$\frac{IN}{2}\sin 2\pi nt \quad \text{et} \quad \frac{IN}{2}\sin 2\pi nt$$

et nous leur ajoutons les 2 systèmes.

$$\frac{IN}{2}\cos 2\pi nt \quad \text{et} \quad -\frac{IN}{2}\cos 2\pi nt$$

dont l'axe est perpendiculaire à l'axe des ampères-tours précédents (fig. 1). De la sorte les

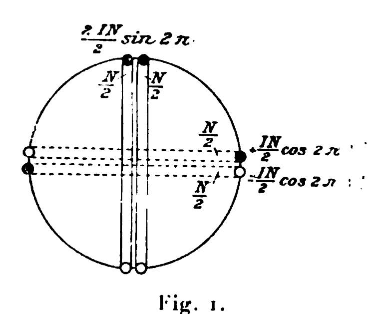


Fig. 1.

ampères-tours effectifs n'ont pas été modifiés. L'un des champs tournants est produit par

$$\frac{IN}{2}\sin 2\pi nt \quad \text{et} \quad \frac{IN}{2}\cos 2\pi nt$$

l'autre par

$$\frac{IN}{2}\sin 2\pi nt \quad \text{et} \quad -\frac{IN}{2}\cos 2\pi nt$$

et tourne en sens inverse du premier.

Ainsi donc, un enroulement monophasé à N spires peut se remplacer par 2 enroulements polyphasés en série, à $\frac{N}{2}$ spires par phase, les spires de l'une des phases étant enroulées dans le même sens, celle de l'autre phase en sens inverse.

2. Ces deux enroulements en série se comportent comme deux transformateurs en série, dont la somme des tensions primaires E est constante (fig. 2).

Soient ρ_1 et ρ_2 les impédances des 2 transformateurs T_1 et T_2. La tension totale E se répartit de telle sorte que $E_1 = I\rho_1$ et $E_2 = I\rho_2$ d'où

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2} \tag{1}$$

E étant la somme géométrique de E_1 et E_2. En effet, on a

$$I = \frac{E}{\sqrt{(r_1+r_2)^2+(\lambda_1+\lambda_2)^2}}$$

en posant

$$\rho_1 = \sqrt{r_1^2+\lambda_1^2}$$
$$\rho_2 = \sqrt{r_2^2+\lambda_2^2}$$

On en déduit

$$E^2 = I^2[(r_1^2+\lambda_1^2) + 2(r_1r_2+\lambda_1\lambda_2) + (r_2^2+\lambda_2^2)]$$

Si on pose

$$\frac{\lambda_1}{r_1} = \operatorname{tg}\varphi_1 \qquad \frac{\lambda_2}{r_2} = \operatorname{tg}\varphi_2$$

on trouve

$$r_1r_2+\lambda_1\lambda_2 = \sqrt{r_1^2+\lambda_1^2}\ \sqrt{r_2^2+\lambda_2^2}\cos(\varphi_1-\varphi_2)$$

de sorte que

$$E^2 = I^2[\rho_1^2 + 2\rho_1\rho_2\cos(\varphi_1-\varphi_2) + \rho_2^2]$$

ce qui veut dire que $I\rho_1$ et $I\rho_2$ font entre eux un angle $\varphi_1 - \varphi_2 - 180°$ et se composent suivant E.

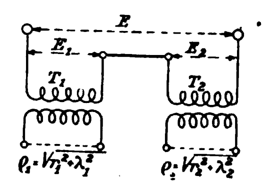


Fig. 2.

Soient I_1 et I_2 les intensités des courants qui se produisent sur chacun des transformateurs quand on y applique la tension E. On a

$$I_1 = \frac{E}{\rho_1}$$
$$I_2 = \frac{E}{\rho_2}$$
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

Comparant avec l'égalité (1), on trouve

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Si les impédances des deux transformateurs sont égales, chacun d'eux prend la moitié de la tension. Si l'un était un court-circuit, toute la

tension serait prise par l'autre. Autrement dit, les tensions partielles E_1 et E_2 sont en raison inverse des courants qu'une tension donnée produirait dans chaque transformateur.

3. Ces simples considérations permettent de trouver une construction graphique des composantes de la tension pour chaque cas donné.

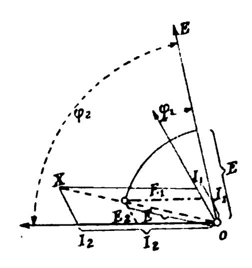


Fig. 3.

Soit OE le vecteur représentant la force électromotrice E (fig. 3) ; soit

$$tg\ \varphi_1 = \frac{\lambda_1}{r_1}$$

$$tg\ \varphi_2 = \frac{\lambda_2}{r_2}$$

φ_1 est l'angle de OI_1 avec OE, φ_2 l'angle de OI_2 avec OE ($OI_1 = I_1$, $OI_2 = I_2$). Traçons le parallélogramme OI_1, OI_2, et portons sur la diagonale OX le vecteur E, par l'extrémité duquel nous menons les parallèles à OI_1 et OI_2.

Comme on a

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Ces parallèles représentent respectivement E_1 et E_2.

4. Nous avons vu que le moteur monophasé se comporte exactement comme deux moteurs polyphasés en série I et II. Nous admettrons donc également que la somme des tensions E se répartit proportionnellement aux impédances correspondant aux vitesses relatives des induits par rapport aux champs tournants I et II, ou en raison inverse des intensités correspondant aux vitesses de l'induit pour une tension donnée. Au repos, les vitesses relatives des deux champs par rapport à l'induit sont égales (appelons les + 1 et — 1) : l'impédance des deux moteurs est aussi la même ; la tension se répartit également sur les deux moteurs. Si l'induit se meut avec la vitesse v (exprimée en fraction de la vitesse synchrone 1), le glissement, par rapport à l'un des champs, est $1 - v$; par rapport à l'autre, $1 + v$. Les impédances ne sont plus égales. Si on les connaît (par exemple comme résultats d'essais), on peut calculer les composantes des tensions correspondant aux moteurs I et II. De ces composantes, on déduira les couples des moteurs I et II, et en faisant la somme algébrique de ces couples, on aura celui du moteur monophasé.

L'impédance d'un moteur à champ tournant augmente, lorsque la vitesse relative de l'induit et du champ diminue. Si l'induit se meut dans le sens du champ I, l'impédance du moteur I augmente, celle du moteur II diminue. Par suite la tension correspondant au moteur I augmente, celle qui correspond au moteur II diminue. Au voisinage du synchronisme de I, toute la tension est prise par le moteur I. Ainsi donc, tandis qu'au repos les deux champs tournants sont de même intensité, lorsque la vitesse augmente dans le sens de I, le champ II diminue, le champ I augmente. L'effet contraire se produirait si l'armature tournait dans le sens II.

5. Pour passer du moteur polyphasé au moteur monophasé, nous procéderons de la façon suivante. Supposons donnés l'intensité et le couple pour chaque valeur du glissement du moteur polyphasé. Nous chercherons le couple et l'intensité du moteur monophasé pour chaque valeur de la vitesse. Soit (fig. 4) OE la force

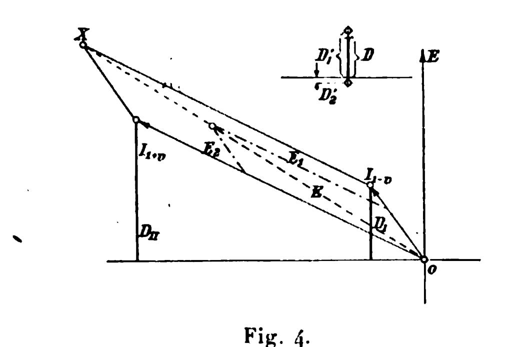


Fig. 4.

électromotrice E aux bornes du moteur monophasé. Pour la vitesse v, le courant du moteur I est I_{1-v} ; celui du moteur II, I_{1+v}. Les composantes wattées de ces courants donnent une mesure des couples. Soient D_I D_{II} les valeurs des couples que les moteurs I et II produiraient sous la tension totale E. Pour déterminer les tensions E_1 et E_2 auxquelles sont soumis les

2 moteurs, nous construirons le parallélogramme I_{1-v}. I_{1+v} ; sur la diagonale oX nous portons E et nous obtenons E_1 et E_2. (Nous supposons que la vitesse v de rotation soit dans le sens de I).

D_I ou D_{II} se rapportent à une tension totale E. Or le moteur I étant seulement soumis à une tension D_1 son couple est

$$D_{I'} = D_I \left(\frac{E_1}{E}\right)^2.$$

De même

$$D_{II'} = D_{II} \left(\frac{E_2}{E}\right)^2.$$

Le couple du moteur monophasé est donc

$$D = D_{I'} - D_{II'} = D_I \left(\frac{E_1}{E}\right)^2 - D_{II}\left(\frac{E_2}{E}\right)^2$$

Le courant qui traverse le moteur monophasé est en retard sur E_1 de φ_1, sur E_2 de φ_2, avec

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{\lambda_1}{r_1}$$

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{\lambda_2}{r_2}$$

Sur le diagramme de la figure 5, les tensions

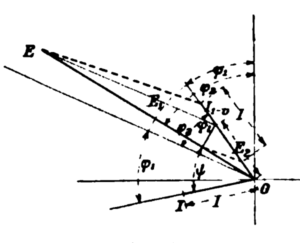


Fig. 5.

partielles E_1 et E_2 font entre elles un angle $\varphi_1 - \varphi_2$. Le vecteur du courant du moteur monophasé retarde sur E_1 de φ_1, sur E_2 de φ_2 : il est donc donné par oI ; l'angle de oI avec E est ψ, angle plus grand que celui que le courant fait dans le moteur I avec la force électromotrice correspondante. Si on suppose l'intensité proportionnelle à la tension, on peut déterminer aussi l'intensité dans le moteur monophasé. I_{1-v} correspond à E, donc à E_1 correspond un courant

$$I = \frac{I_{1-v}\,E_1}{E}$$

Sur la diagonale où se trouve E nous porterons E_1 et par E_1 nous menons la parallèle à EI_{1-v}. On obtient ainsi sur I_{1-v} le segment représentant l'intensité I.

6. On voit ainsi que le courant du moteur monophasé soumis à la tension E est représenté par oI. Pour la marche à vide, E_1 est presque égal à E ; par suite le courant du moteur monophasé est presque égal à celui d'un moteur polyphasé ayant deux fois moins de spires par phase et soumis à la tension E, c'est-à-dire ayant une induction double. Si le moteur est construit de telle sorte que le courant magnétisant soit proportionnel à l'induction, le courant à vide du moteur monophasé serait deux fois plus grand que le courant à vide d'un moteur polyphasé ayant même nombre de spires par phase, ou encore deux fois plus grand que le courant magnétisant du moteur monophasé lui-même. Si la condition ci-dessus n'est pas remplie, c'est-à-dire si le courant magnétisant pour un flux double est plus que doublé, le courant à vide du moteur monophasé croît proportionnellement.

Pendant la période de démarrage, l'impédance et le décalage des deux moteurs I et II sont les mêmes. I_{1-v} et I_{1+v} ont la même direction, le parallélogramme se réduit à une ligne, $E = E_1 + E_2$, et comme $E_1 = E_2$, on a

$$E_2 = \frac{E}{2}, \; E_1 = \frac{E}{2}.$$

Si donc le couple d'un seul des moteurs agissait, on aurait

$$D_{I'} = D_I\left(\frac{E_1}{E}\right)^2 = \frac{D_I}{4}\;;$$

Mais comme $D_{II} = D_I$, le couple de démarrage est nul.

Du courant, du facteur de puissance et du couple pour le glissement $1 - v$ et $1 + v$, pour le moteur polyphasé de $\frac{N}{2}$ spires par phase, on déduit donc les mêmes grandeurs correspondant au moteur monophasé dont l'armature tourne à une vitesse v. Ainsi donc tout le fonctionnement d'un moteur monophasé peut se déduire de celui d'un moteur polyphasé.

Le diagramme montre encore que le décalage du moteur monophasé pour chaque vitesse d'armature (excepté $v = 0$) est plus grand que celui du moteur polyphasé. Ceci est d'ailleurs évident

puisque le moteur qui donne un couple positif est mis en série avec l'autre, lequel se comporte comme une résistance inductive. Par contre, les intensités du moteur monophasé à N spires sont moindres que celles du moteur polyphasé à $\frac{N}{2}$ spires par phase. A vide ces courants sont égaux. Au démarrage, le courant du moteur monophasé n'est que la moitié du courant du moteur polyphasé. C'est ce que montre le diagramme.

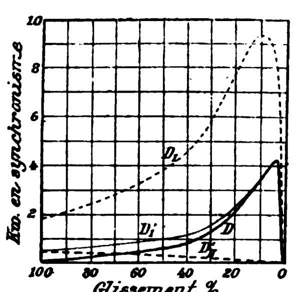
Les figures 6, 7, 8, 9 donnent les courbes du couple du moteur monophasé pour différents rapports entre la résistance ohmique et la réactance de l'induit. Dans ces courbes, D_I représente le couple du moteur polyphasé à $\frac{N}{2}$ spires par phase, soumis à une tension constante; $D_{I'}$ et $D_{II'}$, les couples effectifs des moteurs I et II; ces couples sont déterminés pour chaque vitesse par la répartition des tensions entre les deux moteurs.

Enfin

$$D = D_{I'} - D_{II'}$$

est le couple du moteur monophasé à N spires.

Ces courbes montrent que, lorsque la résistance de l'induit augmente, le couple maximum



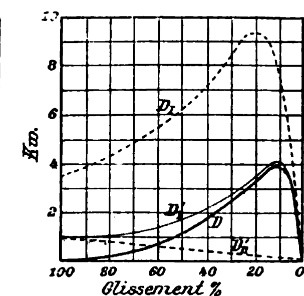
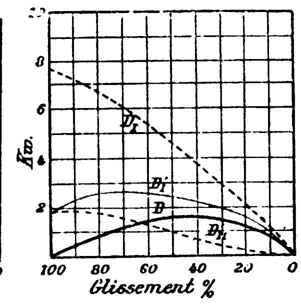


Fig. 6 et 7.



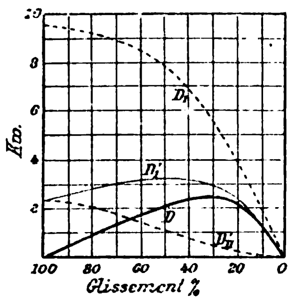
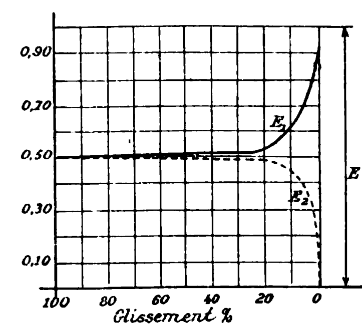


Fig. 8 et 9.

diminue, mais que, dans des circonstances ordinaires, il n'y a jamais de couples négatifs égaux au couple maximum. Un moteur monophasé n'a de couple négatif, qu'au synchronisme; et ce couple négatif est dû à ce que, au synchronisme du moteur I, l'impédance de ce moteur n'est pas infinie. Par suite, au synchronisme, une petite partie de la tension est prise par II, lequel donne lieu à un couple négatif, dû uniquement à ce fait qu'au synchronisme le couple du moteur I est nul. Plus la résistance de l'induit est grande, plus l'impédance du moteur II est considérable, et plus la tension prise par II est grande. Mais les couples négatifs sont toujours beaucoup plus petits que les maxima des couples moteurs.

Les figures 10, 11, 12, 13 donnent les composantes E_1 et E_2 des deux moteurs I et II en fonction du glissement exprimé en pour cent de la vitesse synchrone. La figure 10 correspond à la figure 6, etc. La figure 14 donne pour un seul et même moteur (fig. 7 et 11) les composantes de la tension pour les divers glissements.

Si l'on ne tient pas compte du courant magnétisant, un moteur monophasé ne peut pas avoir de couple négatif au-dessous du synchronisme. En effet, les intensités correspondant aux divers



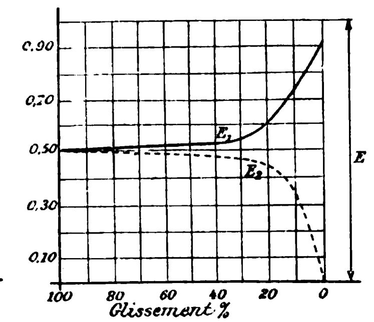


Fig. 10 et 11.

glissements sont représentées par les cordes d'un cercle comme le montre la figure 15. L'échelle des glissements est une perpendiculaire à la force électromotrice OE. Les couples sont représentés par les projections des intensités sur OE, ou ce qui revient au même, par les perpendiculaires sur OO'.

Nous avons vu que le couple d'un moteur

monophasé est

$$D = D_I \left(\frac{E_1}{E}\right)^2 - D_{II} \left(\frac{E_2}{E}\right)^2 = D_I \left(\frac{I_2}{x}\right)^2 - D_{II} \left(\frac{I_1}{x}\right)^2$$

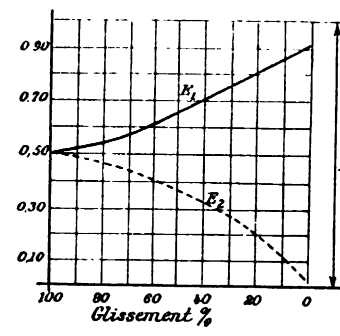
or

$$I_1 = C \sin \varphi_1$$
$$I_2 = C \sin \varphi_2$$
$$D_I = C \sin \varphi_1 \cos \varphi_1 .$$
$$D_{II} = C \sin \varphi_2 \cos \varphi_2 .$$

On en déduit

$$D = \frac{1}{x_2} [C \sin \varphi_1 \cos \varphi_1 C^2 \sin^2 \varphi_2 - C \sin \varphi_2 \cos \varphi_2 \; C_2 \sin {}^2\varphi_1]$$

$$D = \frac{C^3}{x_2} \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 \sin (\varphi_2 - \varphi_1).$$



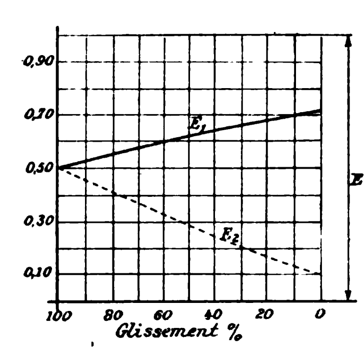


Fig. 12 et 13.

On voit que si $\varphi_1 < \varphi_2$ et si φ_1 et φ_2 sont $< 180°$, D est toujours positif.

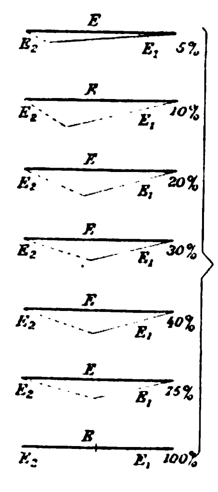


Fig. 14.

7. — La représentation des deux champs tournants, égaux au moment du repos et variant lorsque la vitesse croît, peut être remplacée par une autre : on peut supposer que les deux champs restent égaux pendant le mouvement, et on leur

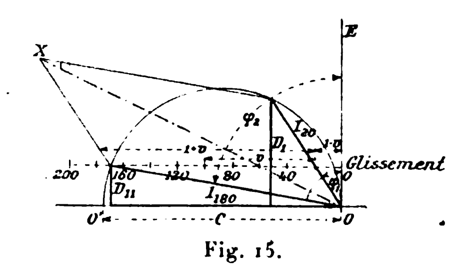


Fig. 15.

ajoute deux champs, l'un f_1 de même sens que I accroit l'intensité de ce dernier, l'autre f_2 en sens inverse de II et l'affaiblissant. (On suppose que l'armature tourne dans le sens de I.)

Si l'on avait $f_1 = f_2$, ces deux nouveaux champs produiraient un champ alternatif simple, décalé de 90° par rapport au premier et ayant son axe perpendiculaire à l'axe de l'autre. Pour $f_1 = f_2$ on devrait avoir $E_1 + E_2 =$ constante, ce qui n'est pas le cas, comme le montrent les diagrammes précédents. Donc en général $f_1 \neq f_2$. Ces champs ne sont pas seulement fonctions de la vitesse de l'armature, mais encore, comme le montrent les figures de 5 à 9, du rapport de la résistance ohmique à la résistance inductive de l'induit.

Les relations précédentes permettent de déduire toute la théorie des moteurs monophasés de celle des moteurs polyphasés.

E. B.

DÉCHARGE ÉLECTRIQUE

Déperdition de l'électricité dans l'air, par **J. Elster** et **H. Geitel**. *Drude's Annalen*, t. II, p. 425-447, juillet 1900.

Linss a trouvé que la déperdition de l'électricité d'un conducteur isolé ne provient que pour une très faible partie du défaut d'isolement des supports. Elster et Geitel ont voulu compléter les expériences de Linss et chercher si le pouvoir isolant de la gomme laque ne varie pas, suivant qu'elle est entourée par l'air libre ou par l'air enfermé dans une cage métallique.

Leur appareil est construit sur le modèle de

l'électroscope d'Exner, mais avec quelques modifications destinées à le rendre facilement transportable. De plus, ils déterminent séparément la déperdition qui tient au contact du conducteur avec l'air et celle qui tient aux autres causes.

La lame de séparation de l'électroscope A

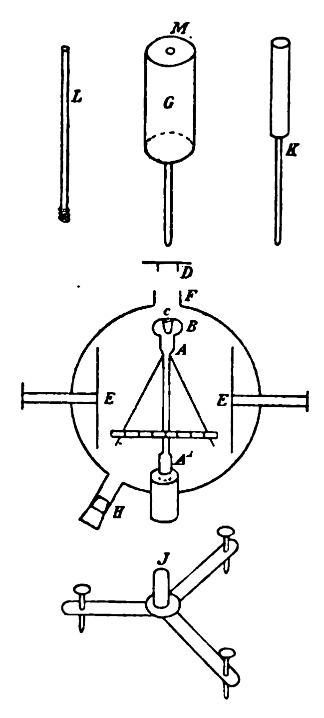


Fig. 1.

A, lame séparant les feuilles d'aluminium; A', cylindre de laiton pénétrant dans le bouchon d'ébonite; E, E, disques métalliques destinés à empêcher les feuilles d'aluminium de venir se coller aux parois de la cage; B, boule terminant la lame A et portant un trou conique *c*; F, tubulure, qui peut être fermée par le couvercle D et qui sert à introduire les pièces G, K, dont les queues s'adaptent au trou *c*; G, cylindre creux en laiton; L, tige d'ébonite se vissant en M sur G; K, tige métallique avec un manche isolant; H, tube de verre fermé par un bouchon de caoutchouc, dans lequel on peut introduire un morceau de sodium, porté par une aiguille, pour dessécher l'air.

(fig. 1) est assez forte et se termine à sa partie inférieure par un cylindre court en laiton A', lequel s'engage dans un bouchon d'ébonite verni, fixé dans la cage.

Pour faire une expérience, on ajuste le cylindre G sur l'appareil en engageant la partie inférieure de la tige dans le trou *c*; on place la cage sur le trépied J et on charge tout le système au moyen d'une pile sèche. Après avoir laissé le temps au bouchon d'ébonite de se charger et de se polariser à l'intérieur, on note la déviation des feuilles d'aluminium. Par suite de la déperdition, la divergence des feuilles diminue peu à peu; quand la diminution est suffisante, on fait une nouvelle observation et on note le temps t qui s'est écoulé entre les deux lectures. Soient V_0 et V, les différences de potentiel qui correspondent aux deux lectures. Puis après avoir enlevé le cylindre G, on recharge les feuilles au moyen de la tige K et on refait les deux mêmes observations : soient V'_0, V' les différences de potentiel, t' l'intervalle de temps, qui doit être au moins égal à t. On peut prendre comme mesure de la déperdition :

$$E = \frac{1}{t}\log\frac{V_0}{V} - \frac{n}{t'}\log\frac{V'_0}{V_0}$$

en désignant par n le rapport de la capacité de l'électroscope seul à la capacité totale de l'électroscope et du cylindre G.

Il reste à déterminer n. On visse la tige d'ébonite L en M : on charge l'électroscope et on observe la divergence D_1; puis en se servant de L comme manche isolant, on introduit la tige du cylindre G en *c*, sans toucher les parois de la cage et on note la nouvelle divergence D_2. Le nombre n est égal au rapport des différences de potentiel qui correspondent à D_1 et à D_2.

Cette détermination de n n'est nullement rigoureuse, mais elle est suffisante. Le deuxième terme de la formule n'est en effet qu'un terme correctif, dont l'ordre de grandeur ne dépasse guère celui des erreurs de lecture, quand l'isolement est bon.

Sous cette forme, l'instrument ne conviendrait pas pour les mesures de déperdition à l'air libre; le cylindre G se trouverait en effet dans un champ électrique dont l'intensité est très variable, surtout au sommet des montagnes et par les temps de pluie. Il est impossible d'obtenir une position stable des feuilles si l'instrument n'est pas protégé. Il faut recouvrir le cylindre G d'un autre cylindre ouvert par le bas, ayant même axe que G. Ce cylindre est relié au sol, de manière qu'il protège G d'une manière suffisante contre les influences électriques extérieures, du moment que le champ électrique de l'atmosphère n'a pas une intensité extraordinairement grande.

Dans les plaines et dans le fond des vallées, la vitesse de déperdition est à peu près la même pour l'électrisation positive et pour l'électrisation négative. L'agitation de l'air n'exerce qu'une influence médiocre sur cette vitesse, beau-

coup moindre qu'on n'aurait pu s'y attendre. La vitesse de la déperdition est d'autant plus grande que l'air est plus clair ; la présence du brouillard, des fumées, des poussières, loin de favoriser la déperdition la retardent. Il reste donc probable que le phénomène est dû à une conductibilité propre à l'air. D'après l'ensemble des propriétés électriques des gaz, il ne semble pas que cette conduction consiste dans le passage de l'électricité sur les molécules gazeuses mêmes. Bien plutôt, l'air ne renferme qu'un nombre restreint de véhicules électriques, qui, par l'effet même de la conduction viennent se fixer sur les électrodes et cessent ainsi de participer au phénomène. Effectivement, la déperdition est beaucoup moins rapide dans un volume d'air enfermé.

En outre, on est amené à attribuer à ces véhicules une charge propre, à cause des changements qu'on observe dans la déperdition en changeant le signe de l'électrisation. On comprend, en effet, que dans un air renfermant en excès des particules positives, les charges négatives se dissiperont plus rapidement et inversement.

Or toutes les expériences effectuées en plein air sur le sommet des montagnes ont montré une déperdition négative plus rapide (expériences sur le Brocken, dans le Harz, sur le Säntis et le Gornergrat en Suisse et au pied de ces montagnes).

Ces diverses observations autorisent à rapprocher ces particules des ions, sans cependant les identifier complètement avec les ions produits par les rayons de Röntgen ou de Becquerel.

Pour justifier ce rapprochement, Elster et Geitel ont cherché à reproduire dans des conditions simples les diverses circonstances accessoires qui influent sur la déperdition.

Ils ont vérifié qu'en entourant le conducteur électrisé de la fumée produite par le gaz chlorhydrique et l'ammoniaque, on réduisait la vitesse de déperdition à moins du dixième de sa valeur. L'expérience réussit aussi bien avec le brouillard de vapeur d'eau. Cette influence du brouillard se produit dans l'air ordinaire et dans l'air dont on a accru au préalable la conductibilité en y introduisant une flamme ou un morceau de pechblende

La déperdition est beaucoup plus rapide quand la cage de l'électroscope, le support et le cylindre qui entoure le conducteur G, sont électrisés dans le même sens que ce conducteur; elle est plus lente si les deux électrisations sont de signes contraires. Ce résultat s'explique aisément quand on admet que la déperdition est due à des particules électrisées contenues dans l'air. L'électrisation des conducteurs extérieurs a pour effet d'augmenter le nombre des ions chargés en sens contraire au voisinage du conducteur extérieur, quand les deux électrisations sont de même signe, de le diminuer dans le cas contraire. Elle affecte de la même manière la vitesse de déperdition. L'expérience est plus nette et plus probante quand on entoure tout l'instrument d'une cage en treillage métallique à larges mailles

La différence entre la déperdition positive et la déperdition négative est surtout frappante quand on dispose en dehors de la cage une flamme reliée au sol et en soufflant de l'air par-dessus cette flamme à travers le treillage sur le conducteur chargé. Si l'électroscope et la cage en treillis sont électrisés de la même manière, la déperdition est très rapide ; dans le cas contraire, elle est très lente ou même la divergence des feuilles augmente. Ce résultat s'explique aisément par la présence d'ions dans les gaz chauds qui proviennent de la flamme.

La déperdition unipolaire sur le sommet des montagnes est un phénomène analogue à ceux qui viennent d'être décrits. Le champ dû à la charge négative du globe terrestre est particulièrement intense dans ces régions élevées; il en résulte que les ions positifs de l'air possèdent une certaine vitesse dirigée vers les conducteurs reliés au sol. Si le conducteur est chargé négativement, la vitesse acquise par les ions positifs sous l'action de cette charge s'ajoute à la précédente : si la charge est positive, les deux vitesses se compensent en partie.

D'autre part, il est facile de vérifier que l'air renfermé à l'intérieur de la cage s'électrise, quand l'air est tranquille. Mais si on fait passer un courant d'air à travers la cage, ou si on la remplit d'un nuage de vapeurs de sel ammoniac, cette électrisation disparaît.

Il paraît donc résulter de l'ensemble de ces observations que l'air atmosphérique possède une certaine conductibilité électrique. D'autre part, il est difficile d'expliquer l'origine de cette conductibilité. Peut-être faut-il la chercher dans l'action des rayons ultra-violets émis par le soleil (Lenard) ou des rayons cathodiques émis par ce même astre (Birkeland). Les ions mis en

liberté dans les régions supérieures de l'atmosphère se diffuseraient ensuite dans les autres parties. M. L.

Fluorescence et luminescence résiduelle dans la décharge électrique à travers l'azote, par **P. Lewis**. *Drude's Annalen*, t. II, p. 459-469, juillet 1900.

Dans les tubes à décharges renfermant de l'azote, il arrive assez souvent que le verre immédiatement après la fermeture du circuit, montre pendant quelques instants une vive fluorescence, alors que la lumière même de la décharge s'affaiblit. Cette fluorescence s'observe surtout quand l'azote a été préparé en chauffant une dissolution d'azotite de sodium et de sulfate d'ammonium, puis débarrassé d'oxygène par le cuivre incandescent. Il est à remarquer que cette fluorescence particulière (appelée par l'auteur fluorescence β), n'est pas limitée au tube à décharges proprement dit, mais se propage, quand on fait circuler dans l'appareil du gaz frais, dans les tubes de communication. Quand on fait circuler constamment du gaz, la fluorescence se maintient; une fois le courant interrompu, il n'y a pas de luminescence résiduelle. Si on interrompt et rétablit plusieurs fois la décharge après avoir rempli à nouveau le tube, la fluorescence β se retire peu à peu dans les tubes de communication.

Il s'agit donc d'une transformation progressive du gaz, qui se produit avec la plus grande rapidité là où la densité du courant est la plus grande.

Plus le courant est faible, plus la fluorescence β est durable : elle est plus intense dans les tubes à électrodes extérieures que dans les tubes à électrodes intérieures. Elle se produit encore à des pressions assez élevées pour qu'aucune décharge visible ne traverse plus le tube. Il s'agit bien d'une fluorescence du verre, car elle disparaît quand on chauffe un point du verre et réapparaît par le refroidissement.

Si l'azote n'a pas été conduit sur le cuivre incandescent ou à travers une dissolution d'acide pyrogallique, la fluorescence β est plus faible. Une trace d'oxygène, d'hydrogène, de gaz carbonique ou de vapeur d'eau l'affaiblissent : une quantité plus grande la fait disparaître complètement.

Quel que soit le soin avec lequel on purifie et dessèche l'azote (par le pyrogallol, le phosphore fondu, le cuivre incandescent, puis l'acide sulfurique, le chlorure de calcium, la potasse caustique, l'anhydride phosphorique, la chaux sodée et encore une fois l'anhydride phosphorique), on n'augmente pas la fluorescence. L'azote extrait de l'air, par le pyrogallol ou le cuivre ammoniacal ne donne que peu ou point la fluorescence β.

Pendant que la fluorescence β se produit, on ne constate aucune modification du spectre visible, à part une diminution de l'intensité lumineuse.

Mais quelques changements s'observent dans le spectre ultraviolet, accompagnant les variations de la fluorescence β ; ces changements paraissent liés à la présence de traces de gaz étrangers ou de vapeur d'eau dans l'azote.

Suivant les expériences de Deslandres, confirmées par celles de Lewis, on ne fait disparaître les lignes de l'hydrogène et de la vapeur d'eau dans le spectre de l'azote raréfié qu'en maintenant un certain temps ce gaz en contact avec le sodium fondu et fortement chauffé. La fluorescence β serait donc due aussi à des traces extrêmement faibles de vapeur d'eau et disparaîtrait dès que la quantité de vapeur d'eau est notable.

Divers observateurs ont signalé une luminescence résiduelle de l'azote après la suppression du courant, quand l'azote renferme des traces d'oxygène; Lewis a également observé cette luminescence : d'un blanc nuageux, avec un spectre continu, quand l'oxygène est en proportion notable ; d'un vert pomme avec un spectre continu dans le vert, quand il ne reste presque plus d'oxygène. Toute luminescence résiduelle disparaît d'ailleurs quand l'azote a été maintenu en présence du sodium fondu. M. L.

Influence d'un intervalle explosif sur la production des rayons Rœntgen, par **A. Winkelmann**. *Drude's Ann.*, t. II, p. 757-768, juillet 1900.

On a reconnu déjà que la présence d'un intervalle explosif dans le circuit d'un tube de Crookes permettait d'obtenir des rayons de Röntgen à des pressions beaucoup plus élevées. La pression maxima, à laquelle il est encore possible d'obtenir les rayons de Röntgen, dépend :

1° De la longueur de l'étincelle. Dans les



expériences de Winkelmann, cette étincelle jaillissait sous l'huile et sa longueur variait de 1 à 2 cm.

2° De la position de l'étincelle. Aux pressions les plus élevées, les rayons de Röntgen se produisent seulement quand l'étincelle se trouve entre la bobine et la cathode. Quand la pression est plus faible, on obtient aussi des rayons en mettant l'étincelle entre l'anode et la bobine : mais ils sont moins intenses que dans le premier cas. Cette différence d'inteusité diminue à mesure que la pression décroît et finalement disparaît.

3° De la nature du gaz contenu dans le tube. Toutes choses égales d'ailleurs, c'est l'hydrogène qui permet d'employer la plus forte pression. La différence entre l'hydrogène, l'air et le gaz carbonique varie du reste avec les dimensions et la forme du tube. Le rapport des pressions limites de l'hydrogène et de l'air est environ de 7,0 à 1,2. L'air et le gaz carbonique diffèrent moins : la pression limite de l'air est un peu plus élevée.

4° Des dimensions du tube. Plus le tube est étroit, plus la pression limite est élevée. Avec l'air, dans un tube de 0,5 cm de diamètre, on peut atteindre une pression de 10 mm de mercure. Avec l'hydrogène, la pression maxima qu'on peut atteindre est de 30 mm. Le mercure, dans un tube de 1 cm de diamètre, dans le tube de 0,5 cm, la pression limite est seulement de 14 mm.

La distance des électrodes n'a pas d'influence marquée dans les tubes larges. Cette influence se fait sentir dans les tubes étroits, mais sans relation simple avec le diamètre. Dans l'air (ou le gaz carbonique), un petit écartement des électrodes (0,5 cm) est plus favorable que le grand (8 cm) dans un tube de 3 cm de diamètre : dans un tube de 1 cm, il n'y a pas de différence et dans un tube de 0,5 cm, c'est le grand écartement qui est le plus favorable.

Dans l'hydrogène, les électrodes écartées donnent un meilleur résultat si le tube a 1 cm de diamètre ; dans le tube de 0,5 cm, l'influence de l'écartement est insignifiante : dans le tube de 3 cm, l'hydrogène se comporte comme l'air.

M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 5 novembre (1).

Sur la vitesse de la lumière, par **Perrotin**. *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 731-734.

L'auteur fait connaître quelques-uns des résultats fournis par des expériences exécutées dans ces derniers temps à l'Observatoire de Nice. La méthode employée est celle de la roue dentée de Fizeau, perfectionnée et mise en œuvre sous sa forme définitive par M. Cornu dans les expériences classiques de 1874, entre l'Observatoire de Paris et la tour de Montlhéry. Les stations étaient distantes de 12 km dans les premiers essais ; elle a été peu à peu considérablement augmentée.

Les mesures faites à 12 km sont au nombre de 1480, dont 810 faites par M. Prim et 670 faites par M. Perrotin. La moyenne des mesures du premier observateur est $299{,}87 \times 10^3$ km : sec; celle des mesures de M. Perrotin est $299{,}93 \times 10^3$ km : sec ; leur moyenne est donc 299 900 km : sec.

Les résultats des mesures se rapportant à une distance plus grande seront publiés ultérieurement.

(1) Les communications présentées aux séances des 22 et 29 octobre n'intéressent pas spécialement nos lecteurs.

Séance du 12 novembre.

Sur les conditions de mise en activité chimique de l'électricité silencieuse, par **M. Berthelot**. *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 772-781.

Dans ce mémoire, l'auteur rapproche les faits qu'il a observés, les uns récemment, d'autres, il y a quelques années, dans l'étude des réactions chimiques provoquées par l'électricité silencieuse (c'est-à-dire en opérant sans décharges explosives) dans trois ordres de conditions en apparence très différentes :

1° L'effluve, développée dans une couche gazeuse placée entre deux surfaces de corps dié-



lectriques et influencée de part et d'autre, soit par les variations de potentiel que déterminent les décharges d'un appareil d'induction, ou d'une machine électrique, soit par la différence constante de potentiel des deux pôles d'une pile à circuit non fermé;

2° L'électricité atmosphérique, telle qu'elle existe à l'état normal, en dehors des orages et de leurs manifestations explosives; c'est-à-dire les différences de potentiel qui existent, soit entre les différentes couches d'air, soit entre une couche d'air et les corps situés à la surface de la terre;

3° L'électricité développée par une inégalité de température, ou par des réactions chimiques, donnant lieu à des différences de potentiel électrique dans les différentes régions d'un système gazeux, constitué soit par un gaz unique, soit par un mélange, ou bien encore entre ce système gazeux et les corps liquides ou solides en contact avec lui, par exemple dans l'appareil désigné sous le nom de *tube chaud et froid*.

Les réactions considérées sont : la formation de l'ozone par l'oxygène ordinaire; la polymérisation de l'acétylène et sa production aux dépens des carbures plus riches en hydrogène; l'union directe de l'azote libre avec l'oxygène, ou avec les composés hydrocarbonés; la combinaison de l'hydrogène avec l'oxygène, l'azote, et les décompositions inverses; la dissociation de l'anhydride carbonique en oxyde de carbone et oxygène, etc. [1].

I. *Effluve proprement dite* (*appareils de laboratoire*). — 1. D'après les expériences de M. Berthelot, une différence de potentiel de 7 volts, obtenue au moyen d'une pile de 5 éléments Leclanché, suffit pour produire la fixation de l'azote libre sur les hydrates de carbone, ainsi que la transformation de l'oxygène en ozone. Ces actions ne transforment d'ailleurs un poids notable de matière qu'au bout d'un temps plus ou moins considérable, comme on devait s'y attendre, en raison de la dose minime d'énergie électrique mise en jeu.

La polymérisation de l'acétylène par l'effluve (produisant du styrolène et analogues) commence aussi à des tensions qui ne sont pas très considérables, sans avoir été définies avec autant de précision que les précédentes.

2. L'union de l'azote avec l'hydrogène, pour former l'ammoniaque; l'union de l'azote avec l'oxygène, sec ou humide, pour former les acides azotique, azoteux et le peroxyde d'azote, n'ont pas lieu sous de très faibles tensions ainsi que l'auteur l'a reconnu en 1877 [1].

La formation simultanée de l'acétylène et de l'hydrogène libre, aux dépens des autres carbures d'hydrogène, n'a pas lieu non plus avec de faibles tensions, et il en est de même de la décomposition de l'acide carbonique avec régénération d'oxygène.

Au contraire, toutes les réactions énumérées ont lieu lorsque l'on fait intervenir l'effluve produite avec le concours d'une bobine de Ruhmkorff de 50 cm, alimentée par 6 ou 8 éléments Bunsen.

3. La fixation de l'azote libre par les éléments de l'eau, pour former l'azotite d'ammoniaque, exige des tensions plus fortes encore que la formation de l'acide azotique.

4. L'union de l'hydrogène et de l'oxygène libres, pour constituer l'eau, exige des tensions notablement plus considérables que la fixation de l'azote sur l'oxygène, ou sur l'hydrogène, ou sur les éléments de l'eau. En effet, en se bornant aux limites de tensions définies plus haut, on peut maintenir l'effluve pendant dix ou douze heures, sans obtenir la combinaison précédente. C'est seulement en réalisant des tensions plus fortes, susceptibles de produire la pluie de feu,

(1) Les unes de ces réactions, envisagées au point de vue purement chimique, sont endothermiques (ozone; régénération d'acétylène par les autres carbures; décomposition de l'eau, de l'ammoniaque, de l'acide carbonique, synthèse de l'azotite d'ammoniaque); mais l'énergie consommée dans leur accomplissement est fournie par l'électricité de l'effluve. Les autres sont exothermiques (polymérisation de l'acétylène, formation de l'eau, de l'ammoniaque, de l'acide azotique hydraté par les éléments, etc.); l'énergie mise en jeu dans leur formation, même électrique, peut donc être fournie par leurs éléments, tandis que l'électricité joue seulement le rôle de simple déterminant. Malgré cette opposition, les formations électriques des deux catégories ont lieu dans des conditions analogues.

(1) C'est là une circonstance fort importante pour la préparation de l'ozone : aussi l'industrie a-t-elle tiré parti de cette observation pour obtenir l'ozone exempt de vapeurs azotiques; tandis que l'ozone en est souillé, lorsqu'on a recours aux fortes tensions, et *a fortiori* aux étincelles électriques, pour le préparer au moyen de l'air atmosphérique.

que M. Maquenne a observé cette union progressive de l'hydrogène avec l'oxygène.

5. Enfin la décomposition de l'eau en ses éléments n'a lieu que sous des tensions surpassant toutes les précédentes et qui se confondent presque avec celles des étincelles proprement dites.

II. *Electricité atmosphérique silencieuse.* — Après avoir rappelé que la différence de potentiel entre deux points de l'atmosphère peut s'élever à plusieurs dizaines de milliers de volts, avant qu'elle devienne assez grande pour produire les manifestations éclatantes de la foudre et des éclairs, M. Berthelot fait remarquer que les mesures faites par divers observateurs et par lui-même [1] sur la variation du potentiel avec l'altitude montrent que la différence de potentiel entre le sommet d'une plante de 25 cm de hauteur (qui est un potentiel du sol) et la couche d'air qui baigne ce sommet est souvent égale ou supérieure à 7 volts. Cette différence peut d'ailleurs devenir bien plus grande lorsque des masses d'air venant des régions supérieures viennent balayer la surface du sol [2].

Il était donc à prévoir que dans ces conditions se produiraient la fixation de l'azote libre sur les hydrates de carbone et la formation de l'ozone. M. Berthelot a vérifié le premier point en opérant avec de la cellulose (papier), enfermée dans des tubes de verre concentriques, remplis d'air et soumis pendant deux mois à l'influence directe de l'électricité atmosphérique; le potentiel dans les tubes a varié, d'après les mesures, de 3 à 180 volts environ pendant cet intervalle de temps. Il a aussi vérifié cette même fixation, ou plus exactement l'accroissement de cette fixation d'azote, en opérant au sein d'une atmosphère à peu près immobile, sur des plantes en pleine végétation, disposées sous des cloches closes dans un champ électrique, dont les limites étaient définies par la simple différence de potentiel d'une pile à circuit non fermé.

Quant à la *formation* de l'ozone dans ces conditions, M. Berthelot n'a pu la vérifier directement; il la considère toutefois comme bien probable [1].

Relativement aux autres réactions, M. Berthelot dit :

« Les assimilations précédentes étant admises en ce qui touche les réactions déterminées par un faible potentiel, elles s'appliquent *a fortiori* aux réactions de l'électricité atmosphérique qui répondraient à des potentiels plus élevés, quoique inférieurs à ceux qui déterminent la

---

[1] Des déterminations régulières faites entre le mois d'avril et le mois d'octobre 1885, au sommet d'une tour de 28 m, à la station de Chimie végétale de Meudon, ont montré que la différence de potentiel oscille entre des valeurs moyennes comprises de 600 à 800 volts, par des temps sereins. La chute de la moindre pluie portait cette différence potentiel vers 12 000 à 15 000 volts, et au delà, tensions auxquells on observait de petites étincelles dans l'électromètre. Le potentiel de l'air étant, comme on sait, à peu près proportionnel à l'altitude au-dessus du sol de la couche atmosphérique étudiée, on a donc 20 à 30 volts par mètre en temps serein. On aurait même 400 à 500 volts et plus en temps de pluie, si la condition de l'air traversé par la pluie pouvait être assimilée à celle de l'air sans pluie.

[2] Il y a lieu, en effet, de faire observer que le potentiel d'une masse d'air en mouvement ne se met pas en équilibre instantanément avec celui des couches d'air, auxquelles cette masse va se mélanger. Il faut pour cela que ce mélange soit accompli en totalité; ce qui exige un certain temps, surtout dans le cours des mouvements tourbillonnants, comme le montre l'aspect des fumées et des poussières visibles, entraînées à travers une atmosphère transparente. Dans une atmosphère agitée par des courants plus ou moins violents, une masse d'air à haut potentisl, telle qu'elle arrive subitement, d'une grande altitude par exemple, sera dès lors susceptible de déterminer, notamment au contact des objets situés à la surface du sol, des chutes de potentiel considérables et les effets d'effluve correspondants; surtout si l'on tient compte des productions additionnelles d'électricité, qui peuvent résulter du frottement des molécules gazeuses en mouvement.

[1] On sait, dit M. Berthelot, que l'existence de l'ozone dans l'atmosphère a été constatée dans un grand nombre de circonstances. Elle s'explique, conformément à ce que je viens de dire, par l'intervention de l'effluve, résultant de la différence de potentiel entre le sol, ou, plus exactement, entre les saillies du sol, ou bien celles des plantes, et les couches atmosphériques en mouvement qui viennent en contact sans cesse renouvelé avec la surface du sol ou des plantes. Elle est également susceptible d'être déterminée par toute chute brusque de potentiel, survenant par l'effet de quelque action locale ou générale, entre les couches atmosphériques qui ne sont pas en contact avec le sol. Cependant, il convient d'ajouter que le plus souvent l'ozone, ainsi formé sur un point, ne subsiste guère, en raison des actions oxydantes qu'il exerce sur les poussières de l'atmosphère. Pour que sa proportion devienne sensible, il faut le concours de circonstances favorables, telles que l'absence de poussières oxydables et l'existence d'un potentiel un peu élevé, dans les couches amenées par les courants d'air au contact des saillies du sol, ou des extrémités des plantes.

chute de la foudre. L'existence de semblables potentiels et la réalité des phénomènes d'effluve qu'ils sont susceptibles de produire sont attestées par l'existence de l'odeur d'ozone, si sensible dans certaines conditions atmosphériques, et plus encore par les phénomènes bien connus des aigrettes lumineuses, visibles à l'extrémité des mâts et des pointes élevées en l'air (feu Saint-Elme).

« J'ajouterai que des chutes de potentiels aussi considérables que ces dernières et les effluves qu'elles provoquent sont capables de déterminer la formation des composés oxygénés de l'azote, ainsi que celles de l'azotate et de l'azotite d'ammoniaque, composés observés dans les pluies ordinaires, même non accompagnées d'orages ou d'éclairs; sans préjudice, bien entendu, des effets du même ordre qui pourraient être provoqués par les décharges explosives et lumineuses des pluies d'orages. Observons d'ailleurs que la réaction des effluves électriques silencieuses de l'atmosphère terrestre est susceptible de produire des effets bien plus considérables que ceux d'un éclair isolé, en raison de la durée des réactions de l'effluve proprement dite, de leur fréquence et de l'étendue sur laquelle elles entrent en exercice.

« Les effets physiologiques de l'air des hautes montagnes notamment pourraient être attribués à des réactions du même ordre de l'électricité atmosphérique à un haut potentiel, amenée par des courants d'air au contact du corps humain qui se trouve lui-même au potentiel du sol.

« Sera-t-il permis d'ajouter que les effets des effluves de très grande intensité sur les mélanges d'hydrogène et d'oxygène expliqueraient la limitation de la dose d'hydrogène dans l'atmosphère, telle que cette dose a été trouvée par les récentes recherches de notre confrère, M. A. Gautier ? »

III. *Effluves électriques dans un milieu gazeux à températures inégales.* — C'est un fait bien connu des physiciens que, toutes les fois qu'une inégalité de température se produit entre les différentes régions d'un milieu gazeux, surtout si les gaz y sont en mouvement, il s'y développe des champs électriques; par conséquent il doit s'y développer des réactions d'effluves. De semblables effets secondaires sont surtout marqués dans les systèmes qui sont le siège de réactions chimiques directes plus ou moins brusques. M. Berthelot a insisté récemment sur leur réalité et leur importance pour l'étude de la formation de l'acide azotique pendant les combustions vives de l'hydrogène, du soufre et du carbone dans l'air.

Des effets électrochimiques analogues se manifestent également, d'une façon nécessaire, dans un système gazeux soumis simplement à l'action de la chaleur, si la distribution de celle-ci n'est pas uniforme, et particulièrement si une variation subite de température, provoquée en un point donné, détermine dans la masse des mouvements rapides et des frottements intenses. Tel est surtout le cas où l'on met une paroi froide en présence de gaz portés à la température du rouge vif, ou du rouge blanc. Au contact de cette paroi froide, il se forme une couche gazeuse isolante; tandis que les couches gazeuses plus éloignées possèdent une conductibilité électrique croissant avec leur température. La couche gazeuse refroidie se trouve dès lors susceptible de jouer le rôle d'une couche diélectrique et, par conséquent, de devenir le siège des actions chimiques d'effluve, telles qu'elles se développent, soit dans les appareils d'induction, soit entre les deux pôles d'une pile à circuit ouvert. Ces actions s'y produiront d'autant mieux que la variation de température sera plus grande et que les transformations chimiques exigeront un potentiel plus faible; condition remplie précisément lors de la transformation de l'oxygène en ozone.

Or, on sait que MM. Troost et Hautefeuille ont observé cette dernière transformation au moyen du tube chaud et froid, lequel réalise précisément les conditions voulues. On peut donc admettre que cet ozone est produit au contact même de la paroi froide, par une réaction d'effluve, sans qu'il soit nécessaire d'en supposer la préexistence au sein des gaz échauffés. La même observation s'applique aux produits obtenus par aspiration des gaz, au sein d'une flamme.

M. Berthelot pense que cette réaction d'effluve intervient aussi, à un degré qu'il n'est pas facile de définir, dans les résultats observés par l'emploi du tube chaud et froid et attribués jusqu'ici à la dissociation, notamment dans la décomposition de l'acide carbonique en oxyde de carbone et oxygène, décomposition que le seul contact de la paroi froide et l'effluve électrique résultante sont susceptibles de produire,

dès que le potentiel électrique devient notable. Il fait observer à ce propos que bien que certains des corps obtenus, au moyen du tube chaud et froid, puissent préexister dans une autre région de l'espace où l'on opère et qui se trouve portée à la plus haute température, cependant on ne saurait contester que cette préexistence demanderait à être démontrée par d'autres méthodes.

En résumé, M. Berthelot considère comme démontré par les faits rappelés qu'un grand nombre des réactions chimiques observées au moyen du tube chaud et froid sont assimilables aux réactions de l'électricité atmosphérique, les unes et les autres étant les mêmes et produites dans les mêmes conditions que les réactions chimiques provoquées par l'effluve des laboratoires.

Sur les expériences de M. Rowland relatives à l'effet magnétique de la « convection électrique », par **V. Crémieu**. *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 797-800

Dans une note communiquée à l'Académie le 5 juin dernier (1) l'auteur faisait connaître les résultats d'expériences qui l'ont amené à cette conclusion, contraire à celle que M. Rowland et M. Himstedt avaient déduite d'expériences antérieures (2), que *le mouvement d'un corps électrisé ne produit pas d'effet magnétique*. Plus récemment (3) il relatait d'autres essais faits en vue de rechercher si inversement les variations d'un champ magnétique produisent un déplacement d'un corps électrisé ; ces essais donnèrent un résultat négatif, ce qui confirmait d'une manière indirecte la conclusion ci-dessus.

Afin d'obtenir une nouvelle vérification, M. Crémieu a repris ses premiers essais en donnant à son appareil la disposition employée par Rowland et par Himstedt. Le disque d'ébonite doré des premières expériences a été placé entre deux plateaux de laiton dont les faces en regard furent recouvertes de feuilles de mica, elles-mêmes recouvertes de feuilles d'étain découpées, comme la dorure du plateau, en secteurs séparément reliés au sol. Le disque tourne autour d'un axe horizontal. A la hauteur de son bord supérieur se trouve, disposée parallèlement à son plan, une aiguille aimantée faisant partie d'un système astatique, la seconde aiguille du système étant située à 11 cm plus haut.

La densité de la couche électrique ayant varié dans les expériences de 1,8 à 4,1 unités CGS, le système magnétique aurait dû subir une déviation correspondant à un déplacement de 12 à 175 mm. Or M. Crémieu *n'a pu observer aucune déviation*.

En présense d'un résultat aussi nettement apposé à celui obtenu par Rowland et Himstedt, M. Crémieu a cherché quelle pouvait être la cause de la divergence. Il a pensé qu'elle pouvait être due à une légère différence entre les dispositifs de ces savants et le sien. Dans ce dernier, le disque tournant est séparé du système magnétique par une feuille d'étain divisée en secteurs, une feuille de mica et enfin un disque de laiton ; dans les dispositifs de Rowland et de Himstedt, cette dernière enveloppe métallique manquait. Il refit donc ces essais après avoir supprimé cette enveloppe et *il trouva alors une déviation du système magnétique*. Mais il reconnut que cette déviation n'augmente pas suivant la loi qu'elle devrait suivre lorsqu'on augmente la convection : ainsi elle ne dépassait pas 14 mm, alors qu'on aurait dû obtenir 175 mm. Elle ne peut donc être due qu'à des effets secondaires : une succession très rapide de courants instantanés qui se produisent dans les secteurs d'étain fixes sous l'action des secteurs chargés du disque tournant.

Il semble par conséquent établi que *la convection électrique ne produit pas d'effet magnétique*.

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du mercredi 7 novembre 1900

M. Abraham expose les recherches qu'il a faites, de concert avec M. le docteur Marnier sur ***la stérilisation des eaux potables, par l'ozone***.

Jadis, on se contentait d'un filtrage grossier des eaux destinées à l'alimentation ; depuis les progrès de la bactériologie, depuis qu'on a re-

(1) *Écl. Élect.*, t. XXIII, p. 429, 16 juin 1900.

(2) *Pogg. Ann.*, t. CLVIII, p. 487. — *Phil. Mag.*, p. 445, 1889. — *Wied. Ann.*, t. XXXVIII, p. 560, 1889.

(3) *Écl. Élect.*, t. XXV, p. 131, 20 octobre 1900.

connu que les eaux sont polluées par de nombreux microbes, qu'elles servent de véhicule à toutes les maladies, notamment au choléra et à la fièvre typhoïde, on a demandé davantage, on a exigé que les eaux soient débarrassées de tous leurs microbes.

Pour cela, on a eu recours à différents procédés :

1° Chauffage à 120° C., pendant 10 minutes; c'est le procédé classique des laboratoires ; il est parfait au point de vue bactériologique ; au point de vue pratique, il a l'inconvénient d'exiger la dépense de plusieurs kilogrammes de charbon par mètre cube d'eau et d'élever la température de l'eau qui devient moins agréable à boire.

2° Filtrage par la porcelaine, par procédé Chamberland. Ce système est parfait au point de vue microbien tant que la porcelaine ne présente aucun trou, aucune fêlure; dans le cas contraire, il sert plutôt à polluer les eaux; il a en outre l'inconvénient d'être très long, l'eau filtrant goutte à goutte.

3° Stérilisation par collage. C'est un procédé analogue au collage du vin ; ou jette par exemple de l'argile en poudre dans l'eau ; l'argile tombe lentement au fond ; les germes s'attachent à elle ; lorsque le dépôt est complet, l'eau restant à la partie supérieure est stérilisée ; il ne reste plus qu'à la décanter. Le procédé Anderson, qui est employé dans plusieurs villes semble agir par le même mécanisme.

4° Purification par filtres à sable. On obtient des résultats analogues à ceux que donne le filtre Chamberland.

Sauf le premier procédé, tous ces systèmes arrêtent les microbes, mais ne les tuent pas. Or, il faut tuer les microbes si l'on veut être sûr de s'en débarrasser. Pour cela, on a cherché à les empoisonner dans l'eau, en mélangeant à celle-ci des corps solubles, agissant par oxydation, tels que le sublimé à raison de 1 gramme le litre, les permanganates, les hypochlorites, l'eau de Javel, etc.

Lorsque l'eau est stérilisée, on la débarrasse des substances toxiques qu'on y a introduites par un traitement chimique qui les transforme en substances inoffensives ou en substances insolubles qui sont arrêtées par filtrage. Parfait quand il est appliqué avec tous les soins désirables, ce procédé est dangereux en général par ce que les poisons solubles sont rarement éliminés en totalité.

Il fallait trouver un corps non soluble, ou toutefois, soluble en quantité assez faible pour n'être pas nuisible et tuant les microbes. L'ozone répond parfaitement à cette condition, ainsi que l'a, le premier, reconnu M. James Chappuis. Différents inventeurs et savants ont cherché à réaliser l'application pratique de l'ozone à la stérilisation des eaux, mais leurs procédés présentaient tous des inconvénients tellement graves qu'ils ne purent être appliqués.

MM. Marnier et Abraham étudièrent au laboratoire d'abord, puis en pratique : 1° la production de l'ozone ; 2° l'action bactériologique de ce dernier, et ils établirent le procédé parfait, simple, économique.

De leurs expériences de laboratoire, ils ont conclu ce qui suit :

1° Pour la stérilisation de l'eau, il est nécessaire que la concentration de l'ozone ne soit pas inférieure à un certain minimum qui dépend de la nature de l'eau et qui atteint en général de 4 à 5 milligrammes d'ozone par litre de gaz [1]. Il est évident que la concentration nécessaire dépend de la plus ou moins grande pureté de l'eau ; nulle avec de l'eau stérile, elle devra être maximum pour des eaux très impures, comme des eaux d'égout.

2° La durée de contact de l'ozone avec l'eau à stériliser ne doit pas non plus être inférieure à un certain minimum qui dépend aussi de la qualité de l'eau à traiter.

3° Il faut que le contact entre l'ozone et l'eau soit aussi intime que possible, parce que, justement, l'ozone est très peu soluble dans l'eau ; il faut que le contact soit presque moléculaire.

La réalisation pratique de ces conditions exige un appareil permettant de régler la concentration de l'ozone, la vitesse d'écoulement de l'eau, la vitesse de circulation du gaz ; ce dernier point permet de ne laisser échapper à l'air libre que du gaz dont tout l'ozone a été utilisé.

L'appareil auquel MM. Marnier et Abraham

[1] On sait que dans les oxydations, deux volumes d'ozone se décomposant en deux volumes d'oxygène libre et en un volume d'oxygène absorbable qui disparaît c'est à cet oxygène absorbable que se rapporte le chiffre de 4 à 5 milligrammes.



se sont arrêtés est simplement la tour de Gay-Lussac. C'est un grand cylindre vertical en partie rempli de cailloux ; l'eau arrive à la partie supérieure ; un robinet permet d'en régler le débit ; elle s'écoule à la partie inférieure, d'où elle se rend aux conduites d'utilisation. L'air atmosphérique ozonisé, arrive à la partie inférieure et s'échappe à la partie supérieure ; on conçoit que l'eau et le gaz se divisent sur les cailloux où ils viennent en contact très intime ; le robinet et le ventilateur permettent de régler la vitesse d'écoulement des deux fluides. Ce résultat est obtenu d'une façon parfaite sans dépense sensible d'énergie mécanique, tandis que les barbotteurs ordinaires, les injecteurs, les appareils de pulvérisation d'eau dans une atmosphère d'ozone, les émulseurs, exigent une dépense souvent considérable d'énergie mécanique et ne permettent pas de régler aussi parfaitement les conditions nécessaires. C'est à un point que l'inventeur d'un des systèmes précédents aurait dû adjoindre à son émulseur une tour de Gay-Lussac.

La production industrielle de l'ozone n'était pas non plus sans offrir de sérieuses difficultés. Le dispositif adopté est le suivant : L'électricité à haut potentiel est engendrée par un alternateur alimentant un transformateur.

Les effluves sont produites entre deux plateaux métalliques placés l'un en face de l'autre et séparés par des plaques de verre entre lesquelles circule l'air atmosphérique à ozoniser.

En dérivation entre les deux plateaux métalliques se trouve un excitateur ou déflagrateur, servant de soupape électrique, afin que, si le potentiel vient à s'élever accidentellement au delà d'une certaine valeur, une étincelle se produise en ce point ; sans cette précaution, des étincelles latérales léchant le verre, se produiraient à l'ozoneur ou, même, le verre de celui-ci serait percé. Un des deux plateaux est percé en son centre afin de donner passage à un tuyau qui est relié à la canalisation générale d'air ozoné sur laquelle est placé le ventilateur dont il a été question plus haut. L'air ordinaire, aspiré, arrive par les bords de l'ozoneur en forme de disque. Chaque plateau métallique de l'ozoneur est creux et un courant d'eau froide le parcours constamment afin d'éviter l'échauffement considérable qui se produirait sans cette précaution, étant donné que la densité de la pluie d'étincelles qu'on provoque est forte puisque la concentration de l'ozone doit être élevée ; or, on sait que la chaleur détruit l'ozone. Pour éviter que le courant d'eau ne mette les deux plateaux à la terre, c'est-à-dire en court-circuit, le dispositif suivant très ingénieux a été imaginé : l'eau arrive par un robinet ordinaire dans un seau métallique dont le fond est percé de petits trous ; la pluie, en gouttes séparées, qui est ainsi formée tombe dans un récipient supporté par des isolateurs et d'où l'eau s'écoule vers les disques. Lorsqu'elle a traversé ceux-ci, l'eau se rend dans un autre récipient isolé dont le fond est également percé de trous afin de permettre l'écoulement à la terre tout en assurant un isolement parfait puisque chaque goutte de la pluie ainsi formée est séparée de ses voisines et n'est plus en contact avec le récipient quand elle arrive à la terre. Chaque disque est muni d'un dispositif analogue.

Bien entendu, en pratique, un ozoneur est formé par la réunion d'un plus ou moins grand nombre de paires de disques. Tous les disques de même signe sont réunis en dérivation au point de vue électrique ; l'eau y circule en série.

L'air atmosphérique à ozoner est desséché avant de parvenir à l'ozoneur.

Des essais pratiques sur une assez grande échelle ont été exécutés à Lille, ils ont donné pleine satisfaction [1]. Une société a été formée pour l'exploitation des procédés qui ont été adoptés pour la stérilisation des eaux potables de plusieurs villes.

Le prix de revient varie évidemment suivant les circonstances locales qui influent sur le prix de revient du kilowatt-heure et aussi suivant la nature des eaux à traiter, les eaux très impures entraînant, bien entendu, des dépenses plus élevées. En général, on peut compter sur un prix total de 0,003 à 0,006 fr. par mètre cube d'eau traité, suivant l'importance de l'installation.

G. P.

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XX, p. 127, 28 juillet 1899. — Voir aussi, pour la stérilisation de l'eau par l'ozone, t. XXI, p. 394 et 514, 9 et 30 décembre 1899.

Le Gérant : C. NAUD



L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

LES APPAREILS DE MESURES INDUSTRIELS DE LA SECTION ALLEMANDE

Si l'on considère l'ensemble des nombreux appareils, voltmètres, ampèremètres ou wattmètres, exposés dans la section allemande, comme dans toutes les autres d'ailleurs, on est frappé par les dimensions de ces appareils. Là où, autrefois, les diamètres de 15 à 20 cm étaient les plus grands, on trouve, en grand nombre, des appareils de 30 à 50 cm. Ceci se comprend très bien si on tient compte du développement considérable des grandes usines, où il est nécessaire d'avoir des instruments de grandes dimensions, permettant la lecture à distance. Des appareils de ce genre existent chez les principaux exposants allemands : Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft (A. E. G.), Siemens et Halske, Hartmann et Braun.

La même préoccupation de rendre les lectures faciles a conduit à faire, comme l'avait fait le premier Weston, en Amérique, des cadrans transparents éclairés par des lampes placées derrière. Cette disposition que l'on retrouve chez Siemens (fig. 1), et chez Hartmann, permet d'observer facilement les indications des instruments, puisque les divisions et l'index se détachent en noir sur un fond éclairé.

Une autre disposition tend également à faciliter les observations à distance; elle consiste à supprimer sur les cadrans toutes les divisions inutiles. C'est ainsi que, dans les voltmètres, on se borne à indiquer sur l'échelle les divisions comprises entre 20 à 30 p. 100 en plus et en moins du régime normal. Ce résultat est obtenu, pour les galvanomètres à cadre mobile, en donnant aux ressorts une torsion initiale qui applique fortement le cadre contre une butée; dans ces conditions, il faut que le couple électromagnétique, produit par le courant, soit plus grand que le couple initial du ressort, pour que la déviation commence à

se produire. On obtient ainsi, avec un angle total de déviation toujours le même, des divisions ayant une amplitude deux à trois fois plus grande; par exemple, un voltmètre de 150 volts, au lieu d'être divisé en 150 parties, n'aura que 50 divisions trois fois plus larges, la déviation ne commençant qu'à 100 volts. Dans d'autres appareils, ce résultat est atteint en accentuant l'inégalité des divisions et en réglant la sensibilité de telle sorte que les plus grandes divisions se trouvent justement au voltage moyen de fonctionnement.

Les appareils à cadran plat, posés contre un tableau, ne sont pas toujours d'une lecture facile pour ceux qui ont à manœuvrer des commutateurs placés au-dessous; pour remédier à ce défaut Weston a, depuis longtemps, adopté une forme d'appareil triangulaire dans laquelle le cadran divisé est tracé sur une surface cylindrique inclinée par rapport au



Fig. 1. — Voltmètre Siemens et Halske à cadran lumineux.

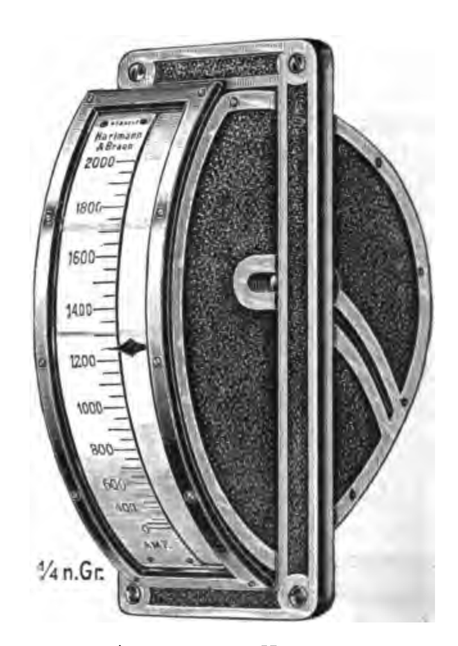


Fig. 2. — Ampèremètre Hartmann et Braun.

tableau et facilement lisible pour les personnes placées au-dessous. Nous retrouvons cette disposition, un peu modifiée, chez Hartmann (fig. 2). L'appareil est renfermé dans une boîte de forme presque triangulaire, l'axe de la partie mobile est voisin d'un des sommets et perpendiculaire au plan de la boîte. La base du triangle, opposée à la partie mobile, est ouverte et porte un cadran cylindrique devant lequel se déplace le bout recourbé de l'index. Ce qu'il y a de particulier ici, c'est que toute la boîte tourne sur un pivot, autour de l'angle inférieur, ce qui permet de donner au cadran divisé une inclinaison différente, par rapport au tableau, selon que l'observation doit être faite au-dessous et de près, ou à distance.

La disposition, si fréquemment adoptée en Amérique et en Angleterre, qui consiste à envelopper les appareils dans une boîte, en fonte ou autre alliage, ne paraît pas s'être beaucoup généralisée en Allemagne, nous ne la retrouvons que chez Hartmann. Les autres constructeurs ont conservé la forme ancienne où la glace et le cadran divisé occupent toute la surface de l'appareil.

Dans la série des appareils électromagnétiques, on remarque fréquemment une double

graduation, d'une part pour courant continu, d'autre part pour courant alternatif d'une fréquence déterminée.

Dans le galvanomètre de Siemens et Halske (fig. 3), le système électromagnétique se compose simplement d'une came en fer doux fixée à un axe de rotation horizontal et placée au-dessus d'un petit solénoïde vertical, parcouru par le courant à mesurer. L'attraction



Fig. 3. — Ampèremètre apériodique Siemens et Halske.



Fig. 4. — Voltmètre à cadre mobile Siemens et Halske.

magnétique tend à faire pénétrer la came dans le solénoïde, ce qui amène la rotation de l'axe et la déviation de l'index; la force antagoniste est la pesanteur. L'axe porte, au bout d'un bras courbé, un petit disque qui se meut dans une boîte en forme de tore de section circulaire; le disque est assez bien ajusté pour former piston, sans frottement, de sorte que la résistance de l'air produit un amortissement presque complet des oscillations.

Nous avons déjà vu (¹) que les galvanomètres à cadre mobile paraissaient devoir prendre

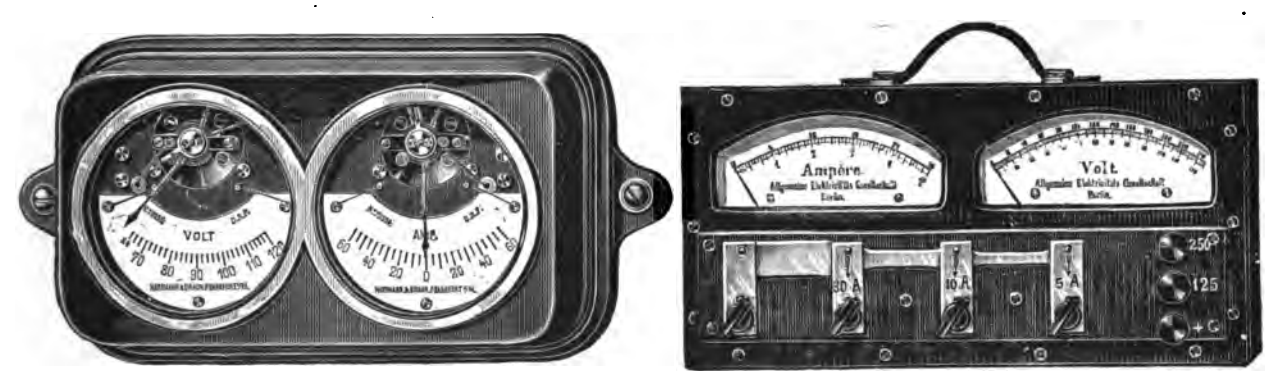


Fig. 5. — Voltmètre et ampèremètre Hartmann et Braun, pour automobiles.

Fig. 6. — Ampèremètre et voltmètre à cadre mobile A. E. G.

pour le courant continu, la place prépondérante; nous en trouvons en effet de nombreux modèles, trop peu différents pour qu'il soit nécessaire de les citer tous; la figure 4 en montre un spécimen. Comme formes différentes, il faut signaler la disposition, qui tend à se généraliser, dans laquelle deux appareils : voltmètre et ampèremètre sont réunis. Ces appareils doubles sont destinés soit aux voitures électriques (fig. 5), soit à la vérification des compteurs

(¹) *Éclairage Électrique*, t. XXIV, p. 322.

(fig. 6). Dans le premier cas, il faut évidemment un équilibrage parfait de tous les organes mobiles pour que les vibrations de la voiture ne se traduisent pas par un affolement complet des index. Pour les voitures également, on emploie un système de galvanomètres suspendus sur des ressorts (Hartmann); ce système est peut-être avantageux dans certains cas, mais il faut toujours craindre que les ressorts augmentent les oscillations au lieu de les diminuer.

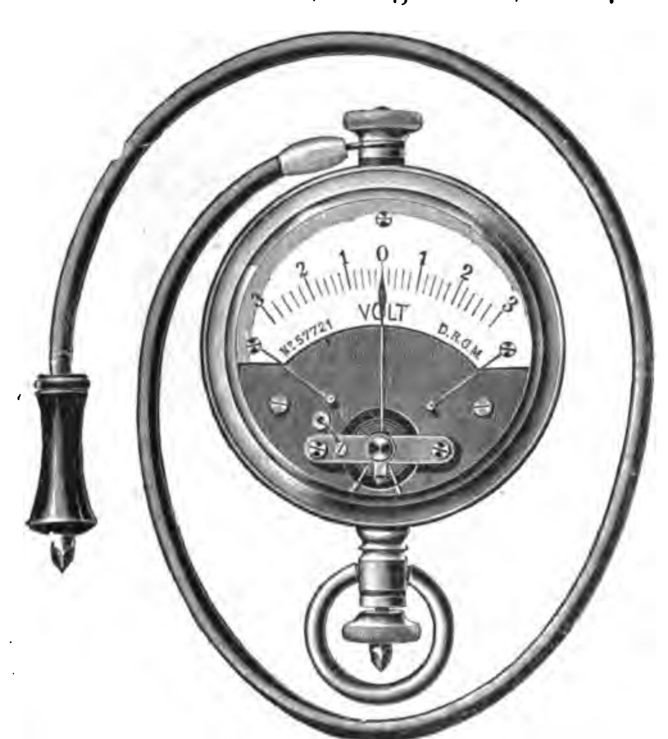


Fig. 7. — Voltmètre Hartmann et Braun pour la vérification des accumulateurs (en vraie grandeur).

La vérification des accumulateurs a également fait créer une multitude de voltmètres à cadre mobile; un des plus intéressants à cet égard est celui de Hartmann (fig. 7) que l'on peut considérer comme le plus petit galvanomètre Deprez et d'Arsonval construit industriellement. De la dimension d'une grosse montre, à peu près, cet instrument renferme tous les organes des galvanomètres à cadre mobile et il est construit avec beaucoup de soin.

La sensibilité des voltmètres à cadre mobile est réglée en faisant varier la résistance du circuit; pour les voltages ordinaires, la résistance est contenue dans la cage du galvanomètre, mais, au delà de 500 volts, la résistance est trop grande et exige trop de précautions pour l'isolement; on la place alors dans une boîte extérieure.

Pour les ampèremètres, c'est par la résistance du shunt, placé en dérivation sur le galvanomètre, que l'on fait varier la sensibilité ; la différence de potentiel nécessaire pour obtenir la déviation totale du galvanomètre est généralement comprise entre 0,05 et 0,10 volt. Les shunts employés à cet effet ont des formes bien connues, ils sont composés de lames d'alliage à faible coefficient de température : maillechort, nickeline, manganin, réunies aux deux extrémités dans des blocs de laiton auxquels sont fixées des prises de courant spéciales. Bien entendu, le nombre et la surface de ces lames sont proportionnés à l'intensité à mesurer, pour offrir une surface de refroidissement convenable. Un de ces shunts, exposé par l'A.E.G. est destiné à mesurer 8 000 ampères ; il a une résistance de 0,0000075 ohm, il absorbe donc une puissance de 480 watts et il présente une surface de refroidissement d'environ 32 cm² par watt. Ce shunt est en nickeline et sa surface est nickelée.

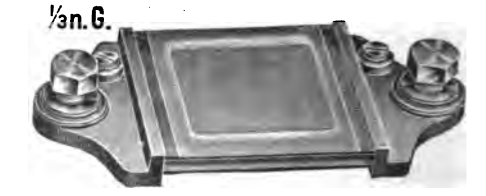


Fig. 8. — Shunt Hartmann et Braun.

Les shunts de Hartmann (fig. 8) présentent une disposition nouvelle : pour donner aux lames de manganin qui les composent la rigidité nécessaire, de façon à dispenser de l'emploi d'un support isolant pour tenir les deux blocs de laiton, chaque lame est emboutie, comme les couvercles des boîtes métalliques; par ce moyen, on arrive à construire des shunts rigides, même avec des lames relativement minces.

Pour les mesures de précision, Siemens et Halske construisent des shunts en manganin plongés dans un bain de paraffine ; la chaleur de fusion de ce corps est assez grande pour maintenir la température du bain au-dessous de la température de fusion — 56° environ — et, comme le manganin a un coefficient de variation très faible, la correction peut être négligée. On évite par ce moyen une élévation anormale de la température, sans avoir besoin de recourir à une circulation d'eau et, en même temps, la résistance est toujours bien isolée.

Si les appareils employés ordinairement pour le courant continu dérivent presque tous du principe unique du cadre mobile, les appareils pour courant alternatif reposent sur des principes beaucoup plus variés. Il y a les appareils à fer doux, dont nous avons parlé plus haut, les électrodynamomètres, les appareils thermiques, les galvanomètres à champ tournant et les électromètres. Pour faire varier la sensibilité de ces divers appareils, on dispose, comme pour le courant continu, des résistances en série ou en dérivation, mais on emploie aussi, et de plus en plus, les transformateurs et les bobines de self-induction. Enfin les courants alternatifs emploient encore d'autres instruments qui leur sont spéciaux : les phasemètres et les fréquencemètres, appareils encore très peu répandus.

Comme appareils de précision, pour les courants alternatifs, on ne peut guère employer que les électrodynamomètres : les électromètres sont trop délicats et susceptibles de se dérégler, les appareils thermiques, si précieux en pratique, n'offrent pas une exactitude suffisante, et les appareils à fer doux et à champ tournant sont trop affectés par les variations de fréquence.

Les électrodynamomètres de précision rappellent les galvanomètres à cadre mobile et, en fait, ils n'en diffèrent guère que par la substitution de bobines fixes à l'aimant permanent. Cette disposition se voit bien dans les schémas des appareils de l'A.E.G. dont la description a été donnée récemment (n° du 20 octobre, p. 121), d'après la communication du Dr G. Benischke. La bobine mobile est portée par un axe vertical dans l'intérieur de deux bobines fixes; comme dans les galvanomètres, des ressorts spiraux amènent le courant à la bobine mobile et servent de force antagoniste. Dans cet appareil, l'amortissement est obtenu, par l'action de deux aimants sur une palette d'aluminium, découpée en forme de 8.

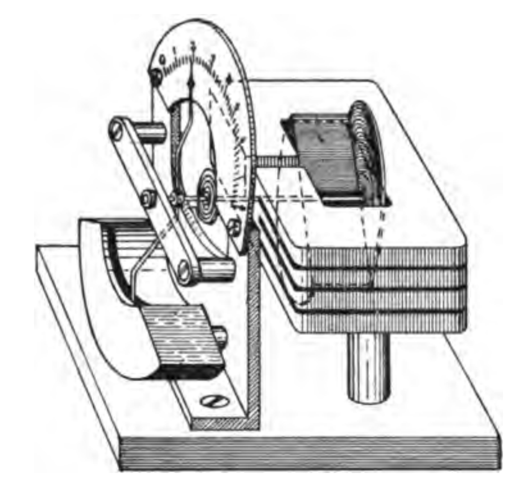

Fig. 9. — Wattmètre de précision Siemens.

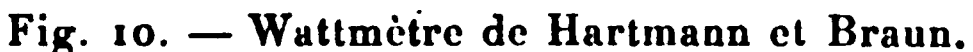
L'appareil de Siemens (fig. 9) diffère par l'amortissement qui est obtenu, comme dans les galvanomètres électromagnétiques cités plus haut, par le mouvement d'une sorte de petit piston glissant dans un tore.

Quand les électrodynamomètres sont employés comme voltmètres, le montage est très simple : les bobines fixe et mobile sont reliées en série et une résistance extérieure est ajoutée pour diminuer la réactance des bobines et le coefficient de variation avec la température. Ces appareils exigent un courant beaucoup plus intense que les galvanomètres à cadre mobile, à cause de la faiblesse du champ créé par les bobines fixes ; ainsi le voltmètre de l'A.E.G. a, pour 125 volts, une résistance totale de 2 130 ohms, tandis qu'un gal-

vanomètre aurait au moins 12 000 ohms. Sur cette résistance, les bobines ont seulement 130 ohms et la résistance extérieure 2 000, ce qui fait tomber le coefficient total à 0,00024, au lieu de 0,004 pour les bobines de cuivre. Grâce également à cette résistance additionnelle l'impédance du circuit est négligeable pour les fréquences ordinaires. La faible valeur de cette résistance montre aussi que la présence des lames de fer n'augmente pas beaucoup le champ des bobines fixes.

Le montage comme ampèremètre est plus délicat et il prête plus à la critique. Comme il est impossible de faire passer le courant total dans le cadre mobile, dont les ressorts ne peuvent être traversés que par de très faibles courants, on est obligé de placer ce cadre en dérivation, soit sur une résistance appropriée, soit sur la bobine fixe elle-même ; mais il faut, et la condition est rarement remplie, que les impédances des deux circuits soient dans




Fig. 10. — Wattmètre de Hartmann et Braun.

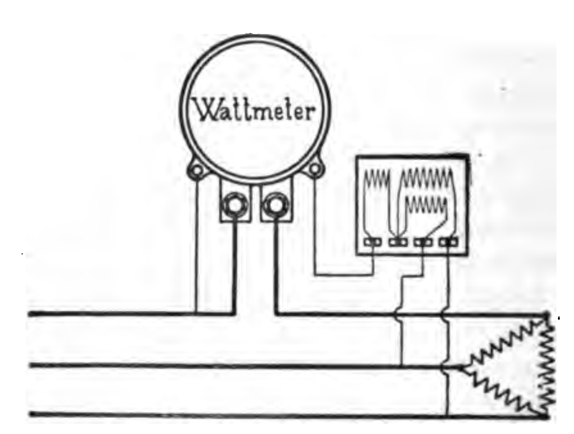


Fig. 11. — Schéma du montage des wattmètres sur circuit triphasé.

le même rapport que les résistances, faute de quoi, les deux circuits n'étant pas en phase, les indications varient avec la fréquence.

En pratique, c'est surtout comme wattmètres que ces instruments rendent des services. Dans ce cas, les bobines fixes reçoivent le courant total et la bobine mobile est placée dans le circuit des volts ; cette disposition est bien connue et ces appareils ont les qualités et les défauts des wattmètres à torsion, auxquels ils se substituent de plus en plus. On trouve dans la section allemande, différents modèles de ces instruments : les uns destinés aux mesures exactes sont enfermés dans une boîte en bois (fig. 9) et portent un commutateur qui permet de grouper les bobines fixes en série ou en dérivation ; les autres, construits pour les tableaux de distribution, sont dans des cages métalliques rondes et portent une seule graduation.

La disposition employée par Siemens et Halske pour obtenir la proportionnalité presque absolue de l'échelle des wattmètres, consiste à donner à la lame qui forme le circuit des ampères, une forme spéciale. Au lieu de disposer deux simples bobines de chaque côté du cadre mobile, lesquelles donnent un champ presque uniforme et *parallèle*, il n'y a qu'une seule bobine dont les portions horizontales sont découpées en forme d'anneaux concentriques à l'axe de rotation de la bobine mobile, de sorte que le courant total se divise en deux parties, suivant chacune un chemin circulaire. On obtient ainsi une déformation du champ magnétique, qui place le cadre mobile à peu près dans les

mêmes conditions que dans les galvanomètres, en lui faisant couper les lignes de force normalement.

Le wattmètre de Hartmann (fig. 10) diffère des précédents par la disposition des bobines qui est celle de l'électrodynamomètre à miroir dont nous avons déjà parlé (1).

Ces appareils servent aussi pour les courants polyphasés et nous trouvons ici une disposition qui paraît se généraliser pour l'application aux courants triphasés. Elle consiste à créer un point neutre fictif au moyen de trois résistances égales, l'une d'elles renfermant le cadre mobile du wattmètre (fig. 11). Par ce moyen, on obtient de bons résultats avec un seul instrument quand les charges sont égales sur les trois phases; mais il reste à savoir si ce cas se présente souvent?

Il n'est pas nécessaire de parler ici des voltmètres et ampèremètres thermiques, la section allemande ne nous en présente d'ailleurs qu'un seul modèle, celui de Hartmann, mais il faut reconnaître que cet appareil est aujourd'hui extrêmement répandu; la grande majorité des machines à courant alternatif de l'Exposition en est munie et c'est là, mieux encore que chez le constructeur, qu'il faut les voir fonctionner.

La même maison a tout récemment ajouté à son exposition un modèle de voltmètre thermique, à miroir, susceptible de rendre des services dans le laboratoire (fig. 12). Il se compose de deux fils fins, tendus verticalement, et portés par une potence métallique; le courant parcourt ces deux fils et les échauffe. Un autre fil fin, isolant, attaché au milieu de chacun des deux autres, forme avec eux comme la branche horizontale d'un H. Ce dernier fil est tendu lui-même par un quatrième fil qui s'attache en son milieu et, par l'extrémité, s'enroule sur la poulie d'un axe portant le miroir. L'axe est suspendu entre deux fils de torsion, comme les cadres mobiles des galvanomètres. A l'aide du bouton supérieur, on donne une torsion au fil de suspension, ce qui fait tourner l'axe et enroule le quatrième fil sur la poulie; celui-ci tire alors sur le fil horizontal de l'H, lui donne une flèche plus forte et oblige également les fils actifs à fléchir; le système prend une position déterminée par les réactions élastiques de tous ces fils. Quand le courant traverse l'appareil, les fils verticaux se dilatent, cèdent à la traction exercée par le fil horizontal et le mouvement se transmet à l'axe qui tourne, sollicité par la torsion du fil supérieur. Cette disposition permet d'observer un petit déplacement du spot pour 1 milliampère, l'échelle étant placée à 1 m du miroir.

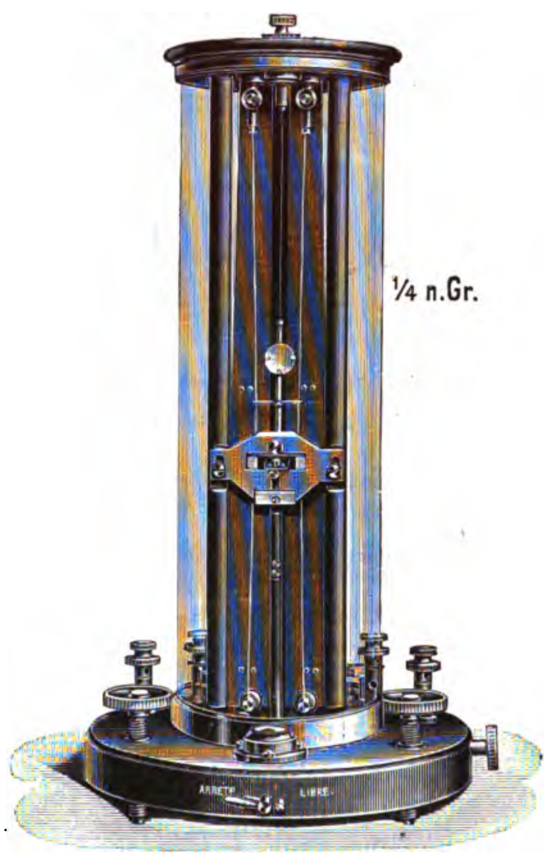


Fig. 12. — Voltmètre thermique Hartmann et Braun.

Les galvanomètres à induction se trouvent en très grand nombre dans la section alle-

(1) *Éclairage Électrique*, t. XXIV, p. 324.

mande, mais il faut reconnaître qu'il y en a fort peu en service. Le principe de ces instruments est connu : un ou plusieurs électro-aimants, à noyaux en fer laminé, développent, dans un disque ou un tambour léger, des courants induits. Au moyen d'un écran conducteur, dissymétrique par rapport à l'électro-aimant, on crée un champ tournant qui réagit sur le disque et tend à le faire tourner (fig. 13 et 14).

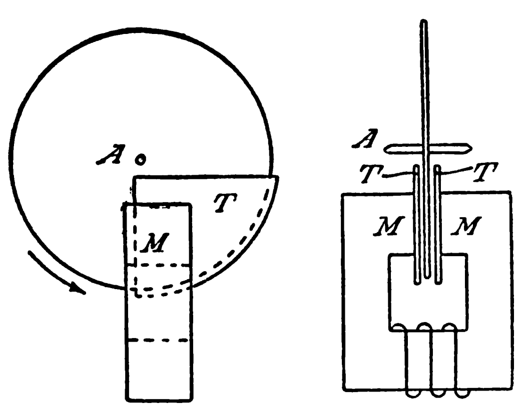


Fig. 13 et 14. — Principe des galvanomètres à induction.

Ces appareils doivent évidemment être gradués pour la fréquence à laquelle ils sont destinés, mais on peut rendre leurs indications indépendantes des petites variations de vitesse de la génératrice, en réglant la self-induction des différentes parties de telle façon que la fréquence de régime soit celle qui donne le couple maximum. Dans les appareils bien étudiés, on peut admettre que les indications sont pratiquement exactes pour des valeurs comprises entre 10 p. 100 en plus ou en moins de la fréquence de régime.

Dans le voltmètre de l'A.E.G. (fig. 13 à 15), l'induit a la forme d'un disque, il est porté par un axe horizontal et la force antagoniste est fournie par deux petits ressorts spiraux ; ces ressorts sont égaux et enroulés en sens inverse pour éviter les déplacements de zéro causés par la dilatation. L'électro est placé à la partie inférieure, son circuit magnétique est presque fermé. Deux plaques de laiton maintiennent les tôles du noyau, l'une d'elles forme comme un U, entre les branches desquelles passe le disque, tandis que l'autre est entièrement coupée ; c'est cette simple différence qui crée la dissymétrie nécessaire. Un aimant permanent, situé à gauche de l'électro, agit sur le disque pour amortir les oscillations.

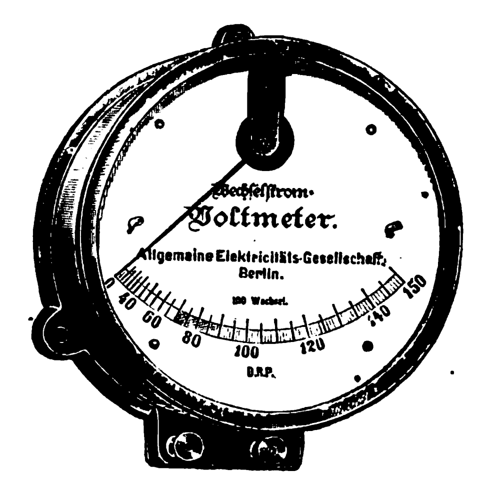


Fig. 15. — Voltmètre à induction.

Les ampèremètres jusqu'à 600 ampères présentent la même disposition.

Pour les intensités plus grandes, l'électro-aimant est enroulé en fil relativement fin et relié au secondaire d'un transformateur (fig. 16). Le circuit primaire est constitué par une simple lame de cuivre de section appropriée à l'intensité à mesurer ; sur cette lame, et perpendiculairement à la direction du courant, est placé un noyau de fer sur lequel est enroulé le secondaire. Un deuxième noyau de fer est placé derrière la lame de façon à former un circuit magnétique presque fermé. Dans le modèle pour 8 000 ampères, exposé par l'A. E. G., le noyau de fer entoure complètement la lame primaire. Un des avantages réclamés pour cette disposition, c'est qu'elle permet de faire des mesures, sur plusieurs circuits, avec un seul galvanomètre et autant de transformateurs que de circuits, les transformateurs étant installés à demeure dans les circuits comme les shunts des ampèremètres à courant continu.

La construction des wattmètres est extrêmement facile, dans ce système : il suffit de faire agir, sur le même disque, un électro excité par le courant total et un second agissant

comme bobine des volts, en ayant soin de placer dans le circuit de ce dernier une self-induction suffisante et, ou besoin, un shunt pour obtenir un retard de phase d'un quart de période. Dans les wattmètres de l'A.E.G., il y a une bobine d'ampères et 2 bobines de volts, placées symétriquement à la première; il y a un écran conducteur sous chaque électro de volt; il n'y en a pas sous l'électro des ampères. Les galvanomètres à induction de Hartmann et Braun sont à peu près semblables.

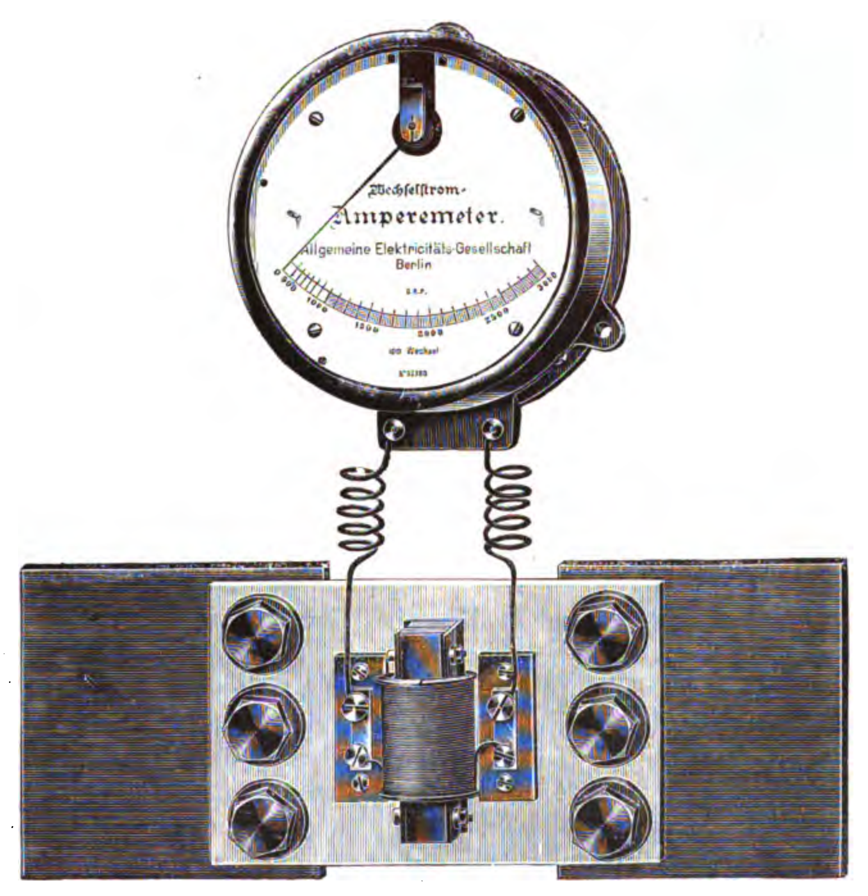


Fig. 16. — Ampèremètre avec transformateur pour courant alternatif.

La construction de Siemens et Halske est sensiblement différente bien que basée sur le même principe : le disque est remplacé par un tambour et, au lieu des électros séparés. il y a les quatre projections polaires d'un anneau de fer laminé (fig. 17 et 18). Dans le cas du wattmètre les bobines qui entourent les pôles sont groupées 2 par 2 et reçoivent, les unes, le courant total, les autres, le courant dérivé. Ces appareils, qui portent, chez Siemens, le nom de Ferraris, sont construits en différentes grandeurs et tout le monde a remarqué les trois grands appareils de ce système, montés sur une sorte de candélabre à 3 branches, qui fonctionnent, dans la galerie des machines étrangères, auprès du groupe Borsig-Siemens.

Dans les wattmètres à induction on emploie aussi fréquemment les transformateurs : ainsi les wattmètres Ferraris, de Siemens, sont, pour les intensités supérieures à 300 ampères et les voltages au delà de 550 volts, munis d'un transformateur, pour l'intensité, et d'une bobine de self séparée, pour les volts. Dans les appareils de l'A. E. G. on emploie aussi le transformateur pour l'intensité, mais, de plus, pour les voltages élevés, on se sert d'un

transformateur pour réduire la tension (fig. 19), de sorte que le wattmètre lui-même ne reçoit pas de courant à haute tension, ce qui est évidemment une garantie.

Les électromètres sont représentés, à l'A.E.G., par différents modèles tous dérivés de celui de la figure 20. Une aiguille dissymétrique est attirée par deux secteurs fixes et un contrepoids s'oppose à ce mouvement; un petit aimant agit sur l'aiguille pour amortir ses oscillations. La seule particularité à signaler dans cet instrument c'est la présence de lames de micanite, collées sur les faces internes des secteurs fixes et débordant largemeut de ces derniers; on évite ainsi la destruction de l'instrument, en diminuant les chances d'étincelles, mais, par contre, l'emploi du courant continu est impossible, à cause de la polarisation du diélectrique.

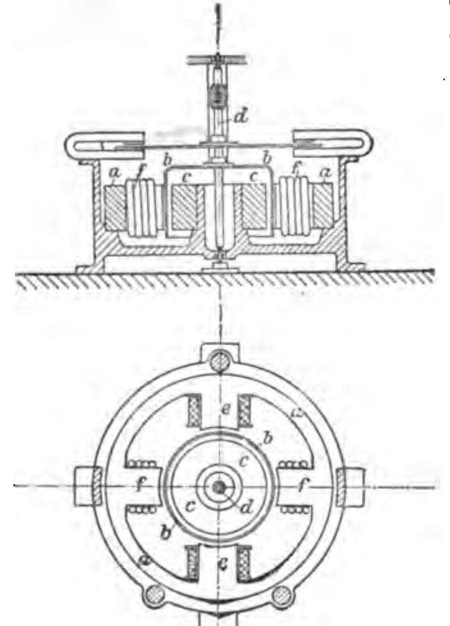


Fig. 17. — Schéma des appareils Ferraris Siemens.



Fig. 18. — Wattmètre Ferraris Siemens.



Fig. 19. — Transformateur réducteur de tension pour wattmètre A. E. G.

L'électromètre multicellulaire de Hartmann (fig. 21), conserve la disposition des cadrans et des aiguilles de l'appareil de Kelvin, mais la suspension à fil est logée à l'intérieur du petit tube qui réunit les aiguilles, de sorte que l'appareil n'a pas la colonne extérieure destinée à couvrir la suspension et qu'il peut être renfermé dans une boîte ronde, de dimensions ordinaires. De plus, et c'est là un côté intéressant, l'amortisseur à liquide, d'un emploi si incommode, est remplacé par un disque d'aluminium tournant entre les pôles de petits aimants.

La même maison présente également un autre modèle d'électromètre pour hauts voltages (fig. 22), dans lequel une palette fixe, presque verticale, attire une palette mobile suspendue, à sa partie supérieure, à un pivot qui lui permet de s'écarter légèrement de la verticale; la force antagoniste est la pesanteur. Le déplacement de la palette mobile est très petit, mais un fil, attaché à sa partie inférieure, s'enroule sur un petit treuil monté sur l'axe qui porte l'index; le mouvement est ainsi fortement amplifié. L'amortissement est encore obtenu là par l'action d'un aimant sur un disque conducteur.

Nous avons vu, plus haut, que l'emploi des transformateurs se généralisait dans les mesures de courants alternatifs et, en effet, ces appareils peuvent se prêter à toutes les mesures pourvu qu'ils soient employés à la fréquence pour laquelle ils sont réglés. L'A E G en présente un certain nombre comme réducteurs de tension ; la figure 23 montre la disposition employée. Ce modèle, qui est construit pour 6000 volts, est un véritable transformateur industriel, puisqu'il pèse environ 39 kg ; il peut absorber 150 watts sans échauffement exagéré.



Fig. 20. — Voltmètre électrostatique A. E. G.

On voit, dans les sections allemandes, deux modèles de phasemètres industriels. Celui de l'A. E. G. est un appareil donnant, non pas la différence de phase entre E et I, mais seulement I sin φ, c'est-à-dire le courant déwatté ; c'est pourquoi cet appareil est gradué en *ampères*. Il y a 2 graduations, une de chaque côté du zéro, de sorte que l'instrument peut indiquer s'il y a avance ou retard de phase. Le principe est exactement le même que celui du wattmètre à induction dont nous avons parlé plus haut, avec cette différence que les bobines de volts sont en phase avec la tension et, par conséquent, le couple électrodynamique est nul quand E et I sont en phase.

Le phasemètre de Hartmann est entièrement différent, il indique directement sur un cadran gradué l'angle de phase φ (fig. 24). Cet appareil est construit comme une sorte de

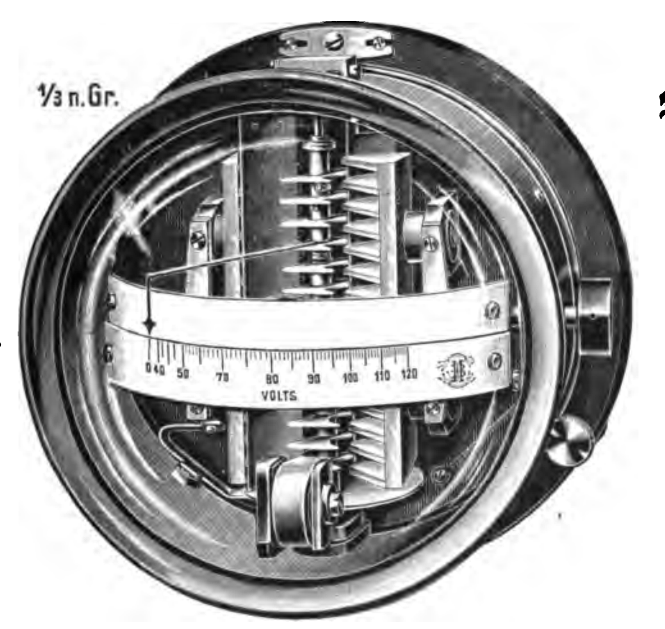


Fig. 21. — Electromètre cellulaire Hartmann et Braun.

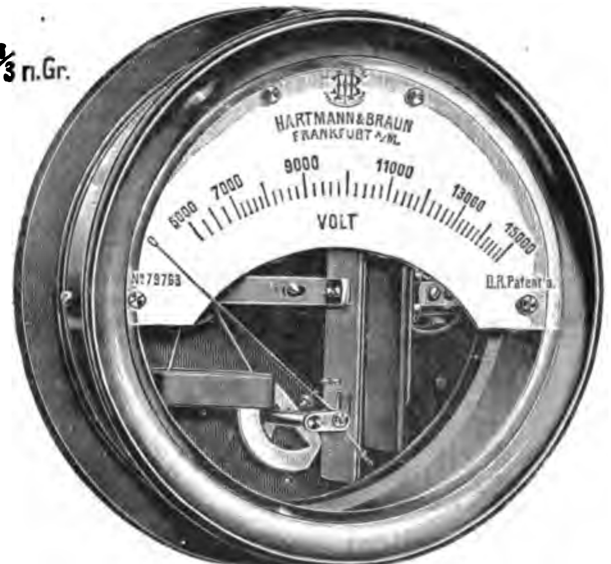


Fig. 22. — Electromètre Hartmann et Braun.

wattmètre dans lequel le circuit des volts est remplacé par un système de 2 bobines, enchevêtrées l'une dans l'autre et faisant entre elles un angle de 90° ; ces bobines sont portées par un axe vertical passant par les points de croisement. Le courant dérivé passe d'abord à travers une résistance, puis se bifurque dans les deux bobines, mais, au moyen d'une bobine de self, on crée entre les 2 courants une différence de phase d'un quart de période, de sorte

que le système donne naissance à un champ tournant. Quand la bobine fixe est parcourue par le courant total, le système mobile tend à s'orienter de façon que la composante du champ

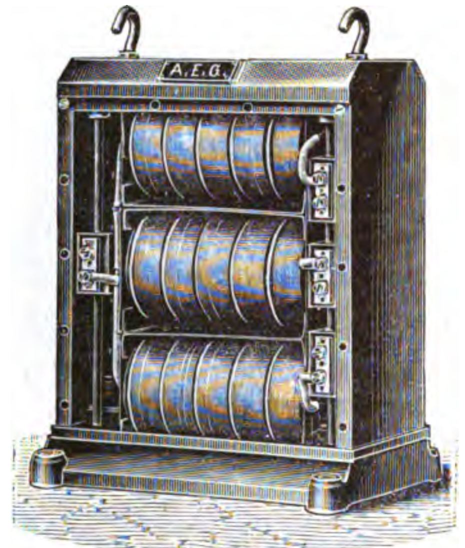




Fig. 23. — Transformateur pour mesures A. E. G.

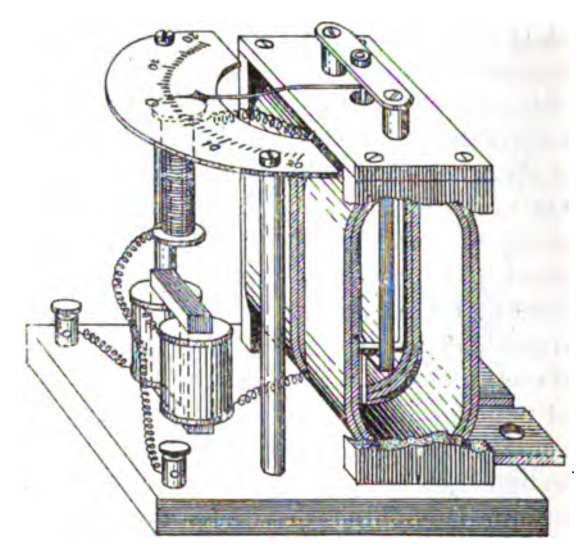


Fig. 24. — Phasemètre Hartmann et Braun.

tournant, qui est en phase avec l'intensité totale, vienne se placer parallèlement au champ créé par la bobine fixe ; comme cette composante en phase a une position variable suivant le retard de I sur E, on conçoit que le système mobile prend une position différente pour chaque valeur de φ ; un index, fixé au système mobile, indique φ, sur un cadran divisé empiriquement. Cet appareil doit être gradué pour chaque valeur de la fréquence, mais ses indications sont à peu près indifférentes à la grandeur de I et de E, l'équipage mobile étant sans force directrice appréciable.

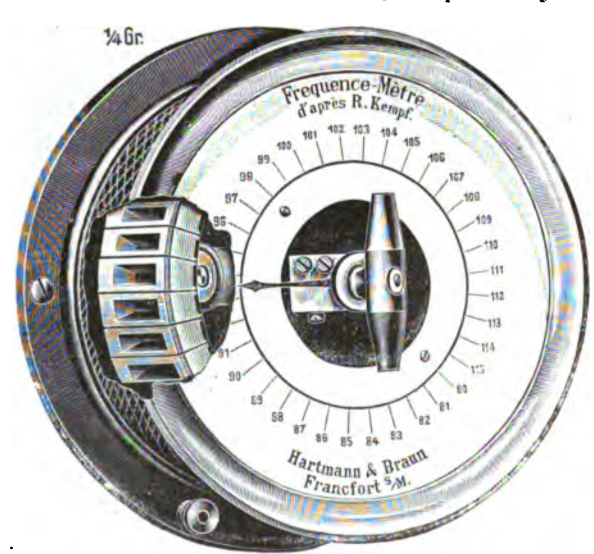


Fig. 25. — Fréquence-mètre Hartmann et Braun.

Les fréquencemètres de Kempf-Hartmann sont basés sur la résonance. Dans le premier modèle (fig. 25), une série de 32 lames vibrantes en acier, montées comme des anches de musique, sont disposées contre la paroi intérieure d'une boîte cylindrique. Ces anches sont réglées par demi-période, de 40 à 56 périodes par seconde. Un électro-aimant droit, porté par un axe qui tourne au centre de la boîte, peut être amené successivement devant chaque anche. Cet électro est à fil fin, il se place en dérivation sur le circuit à essayer, comme un voltmètre. Quand l'électro excité passe devant la lame vibrante de même période, celle-ci se met à vibrer et rend un son d'autant plus intense que la résonance est plus parfaite. La mesure consiste donc, simplement, à faire tourner l'électro-aimant jusqu'à ce qu'il arrive devant la lame convenable ; à ce moment un index, porté par l'axe, indique, sur un cadran, la fréquence corres-

pondante. Quand la fréquence est comprise entre les valeurs de deux lames consécutives, celles-ci vibrent toutes deux, indiquant ainsi une fraction de période.

Le second modèle (fig. 26) est surtout un indicateur, il ne renferme que deux lames vibrantes, l'une au-dessus, l'autre au-dessous de la fréquence de régime; deux électros agissent sur ces lames. Quand la vitesse de la génératrice se maintient au régime, les lames restent au repos, mais si elle augmente ou diminue, l'une des deux lames entre en vibration et son amplitude est d'autant plus grande que l'on approche plus de la résonance. On se sert de cette vibration pour actionner un relais faisant fonctionner des sonneries, ou des lampes de couleur, pour avertir du changement de vitesse.



Fig. 26. — Fréquence-mètre Hartmann et Braun.

La mesure de l'isolement des réseaux en activité préoccupe, à bon droit, les électriciens.

Une solution, souvent adoptée aujourd'hui, consiste à faire usage d'un voltmètre gradué *en ohms ;* il suffit, en effet, d'indiquer sur le cadran la résistance en ohms qu'il faut intercaler dans le circuit pour obtenir les différentes déviations, le voltage restant constant. Un appareil de ce genre, placé entre un des conducteurs et la terre, indique la résistance d'isolement qui existe entre l'autre conducteur et la terre — dans le cas où il n'y a de fuites que sur le second conducteur. — Un grand nombre de ces appareils existent, le procédé est d'ailleurs applicable à tous les voltmètres, mais,



Fig. 27. — Appareil d'isolement pour courant alternatif Siemens.



Fig. 28. — Appareil d'isolement A. E. G.

évidemment, la résistance maximum que l'on peut mesurer est liée à la résistance du voltmètre lui-même.

La méthode s'applique aux réseaux à courant alternatif aussi bien qu'à ceux à courant

continu, bien qu'il y ait lieu de faire des réserves à cause de la capacité des câbles.

On trouve des appareils de ce genre chez tous les constructeurs, ils n'ont rien de particulier à signaler.

Pour éviter, avec les courants alternatifs, le courant de charge de la capacité du câble, l'A. E. G. conseille l'emploi des électromètres : deux de ces instruments étant reliés en série, entre les câbles à essayer, et leur point de jonction étant à la terre : les indications de chaque appareil sont alors en raison directe de l'isolement qui existe entre le câble correspondant et la terre. Cette méthode a l'inconvénient de ne donner qu'une indication très grossière sur le câble le mieux isolé, car les appareils indiquent seulement le *rapport* des résistances d'isolement ; deux câbles parfaitement, mais inégalement isolés peuvent, dans ces conditions, faire croire à un défaut.

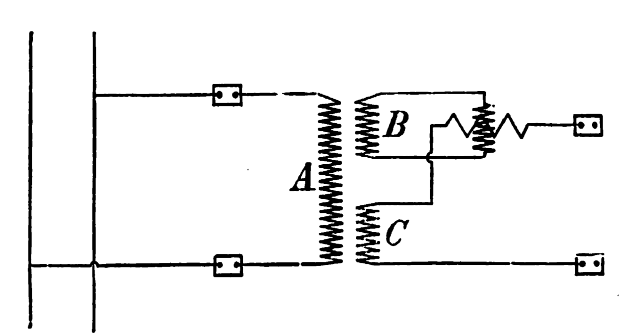


Fig. 29. — Schéma de l'appareil d'isolement A. E. G.

Avec les courants alternatifs on peut isoler complètement l'appareil de mesures de la source de courant, en employant un transformateur ; c'est la disposition que nous trouvons chez Siemens et à l'A. E. G. Dans le premier modèle (fig. 27), un voltmètre à induction est relié au secondaire d'un transformateur placé dans le socle de l'appareil. Dans le deuxième (fig. 28 et 29), le transformateur est muni de deux secondaires : l'un, B, destiné à créer le champ du voltmètre, l'autre, C, donne une force électromotrice égale à celle du réseau et est relié, d'une part, au voltmètre et à la terre, d'autre part, au câble à essayer.

Enfin pour les circuits à haute tension on relie un voltmètre à faible voltage à un transformateur réducteur dont le primaire est traversé par le courant de fuite que l'on veut mesurer. Bien entendu il faut faire, pour tous ces dispositifs, les réserves relatives à la capacité des câbles.

H. Armagnat.

ALTERNATEUR SYSTEME BOUCHEROT DU GROUPE DELAUNAY-BELLEVILLE ET BRÉGUET

L'alternateur du groupe Delaunay-Belleville et Bréguet (fig. 1, 2 et 3) est un alternateur triphasé pouvant donner 2 200 volts composés et 220 ampères par fil avec un facteur de puissance de 0,8, en tournant à la vitesse de 250 tours par minute.

Il est disposé de manière que sa tension aux bornes se maintienne constante et sensiblement indépendante du débit en courant watté ou déwatté. Ce résultat est obtenu par la combinaison, avec l'alternateur proprement dit, d'une dynamo excitatrice spéciale, que nous appelons « Dynamo à enroulements sinusoïdaux » et d'un troisième appareil que nous appelons « Transformateur de compoundage ».

Cette machine est donc un alternateur compound.

Le compoundage des alternateurs n'est pas une question précisément nouvelle. Sans parler du compoundage imparfait de Ganz déjà vieux d'une quinzaine d'années, on peut citer les procédés de compoundage de Rice (1894), de la Compagnie Française Thomson-Houston (1896), de Rice (1896), de Blondel (1896), de Hutin et Leblanc (1896).

Mais tous ces procédés de compoundage reposent sur l'utilisation plus ou moins simple de l'appareil ordinairement appelé « commutatrice » ou « convertisseur ».

Or l'emploi du convertisseur ordinaire comme excitatrice d'alternateur compound présente à notre avis deux inconvénients sérieux :

1° Si l'excitatrice est calée directement sur l'axe de l'alternateur, il faut lui mettre autant de pôles qu'à cet alternateur, et comme c'est une machine beaucoup plus petite que l'alternateur, elle est, la plupart du temps, irréalisable. On a, il est vrai, la ressource de la con-

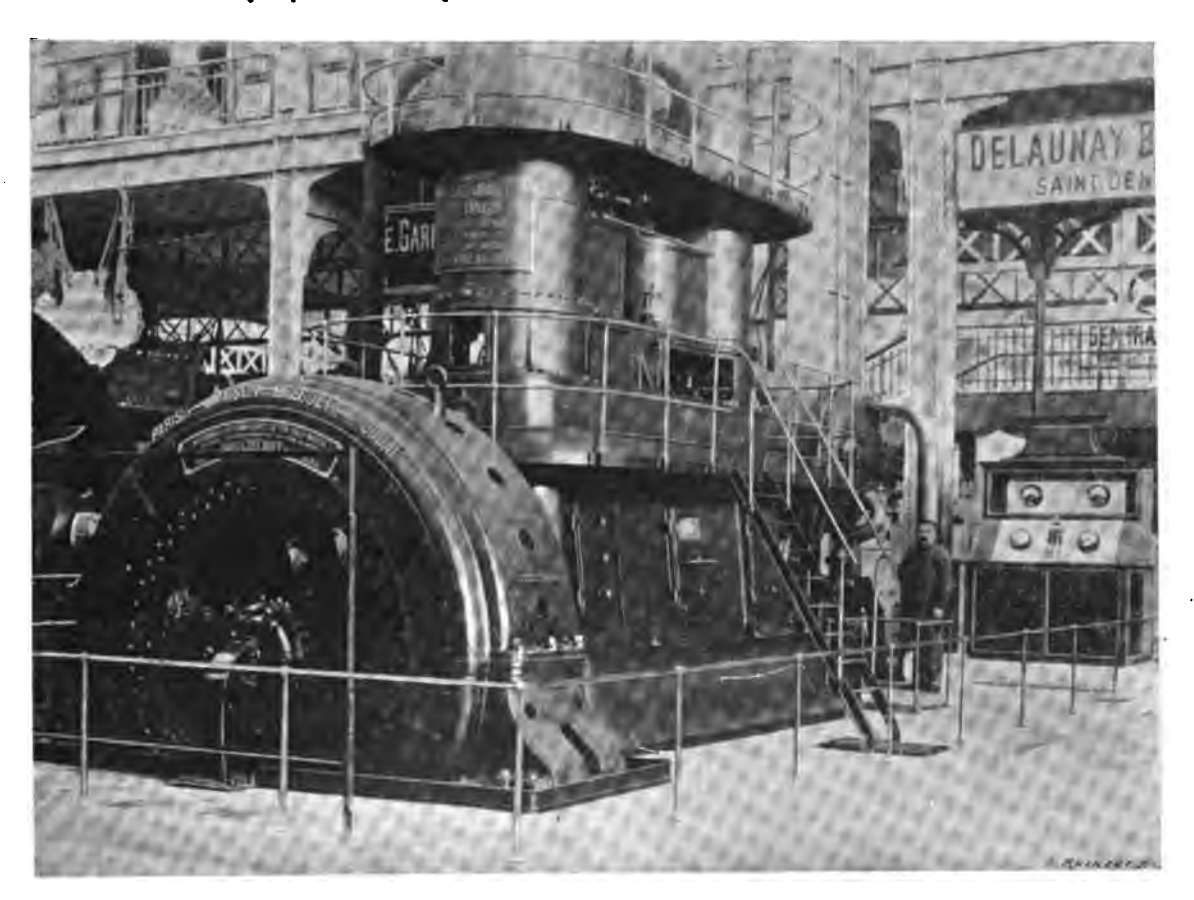


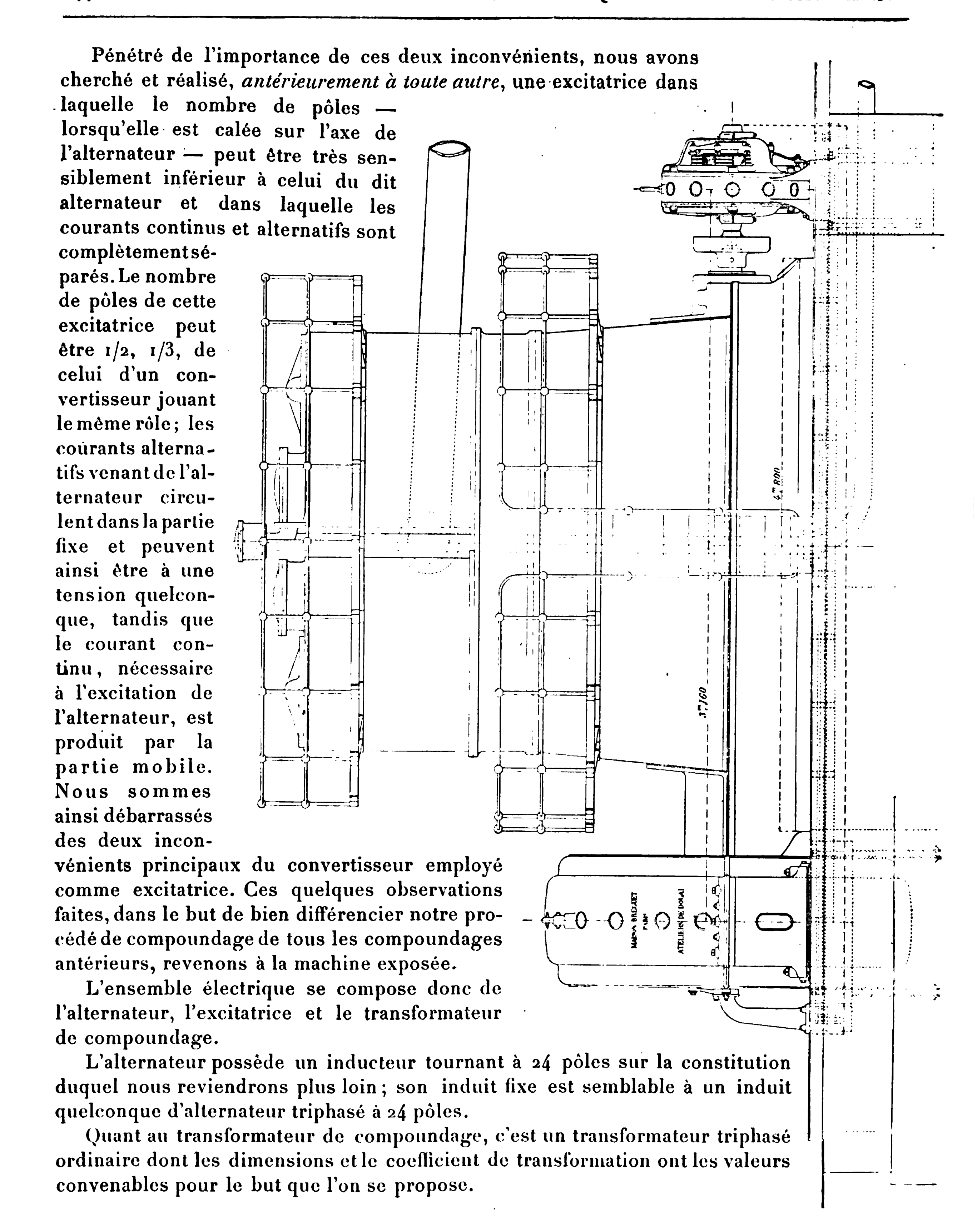
Fig. 1. — Groupe électrogène de 870 kilovolts-ampères de MM. Delaunay-Belleville et Cie et de la maison Bréguet.

duire par engrenages, ce que nous sommes également obligés de faire avec notre excitatrice pour les alternateurs-volants à faible vitesse angulaire. Mais dans ce dernier cas, le convertisseur ordinaire n'est encore pas réalisable, à moins de mettre un double train d'engrenages. Donc, le convertisseur ordinaire ne peut être appliqué que dans les circonstances les plus avantageuses, avec des alternateurs à grande vitesse, et presque toujours avec engrenages.

2° Avec le convertisseur ordinaire, la tension continue étant liée invariablement à la tension alternative, si l'on veut exciter des alternateurs de haute tension, il faut, soit employer un transformateur pour abaisser la tension de l'alternateur à une valeur ordinaire acceptable, soit mettre dans la partie tournante de l'excitatrice deux enroulements, à haute et basse tension, pouvant présenter de graves dangers pour le personnel chargé de conduire cette excitatrice.

****

Pénétré de l'importance de ces deux inconvénients, nous avons cherché et réalisé, *antérieurement à toute autre*, une excitatrice dans laquelle le nombre de pôles — lorsqu'elle est calée sur l'axe de l'alternateur — peut être très sensiblement inférieur à celui du dit alternateur et dans laquelle les courants continus et alternatifs sont complètement séparés. Le nombre de pôles de cette excitatrice peut être 1/2, 1/3, de celui d'un convertisseur jouant le même rôle; les courants alternatifs venant de l'alternateur circulent dans la partie fixe et peuvent ainsi être à une tension quelconque, tandis que le courant continu, nécessaire à l'excitation de l'alternateur, est produit par la partie mobile. Nous sommes ainsi débarrassés des deux inconvénients principaux du convertisseur employé comme excitatrice. Ces quelques observations faites, dans le but de bien différencier notre procédé de compoundage de tous les compoundages antérieurs, revenons à la machine exposée.



L'ensemble électrique se compose donc de l'alternateur, l'excitatrice et le transformateur de compoundage.

L'alternateur possède un inducteur tournant à 24 pôles sur la constitution duquel nous reviendrons plus loin; son induit fixe est semblable à un induit quelconque d'alternateur triphasé à 24 pôles.

Quant au transformateur de compoundage, c'est un transformateur triphasé ordinaire dont les dimensions et le coefficient de transformation ont les valeurs convenables pour le but que l'on se propose.

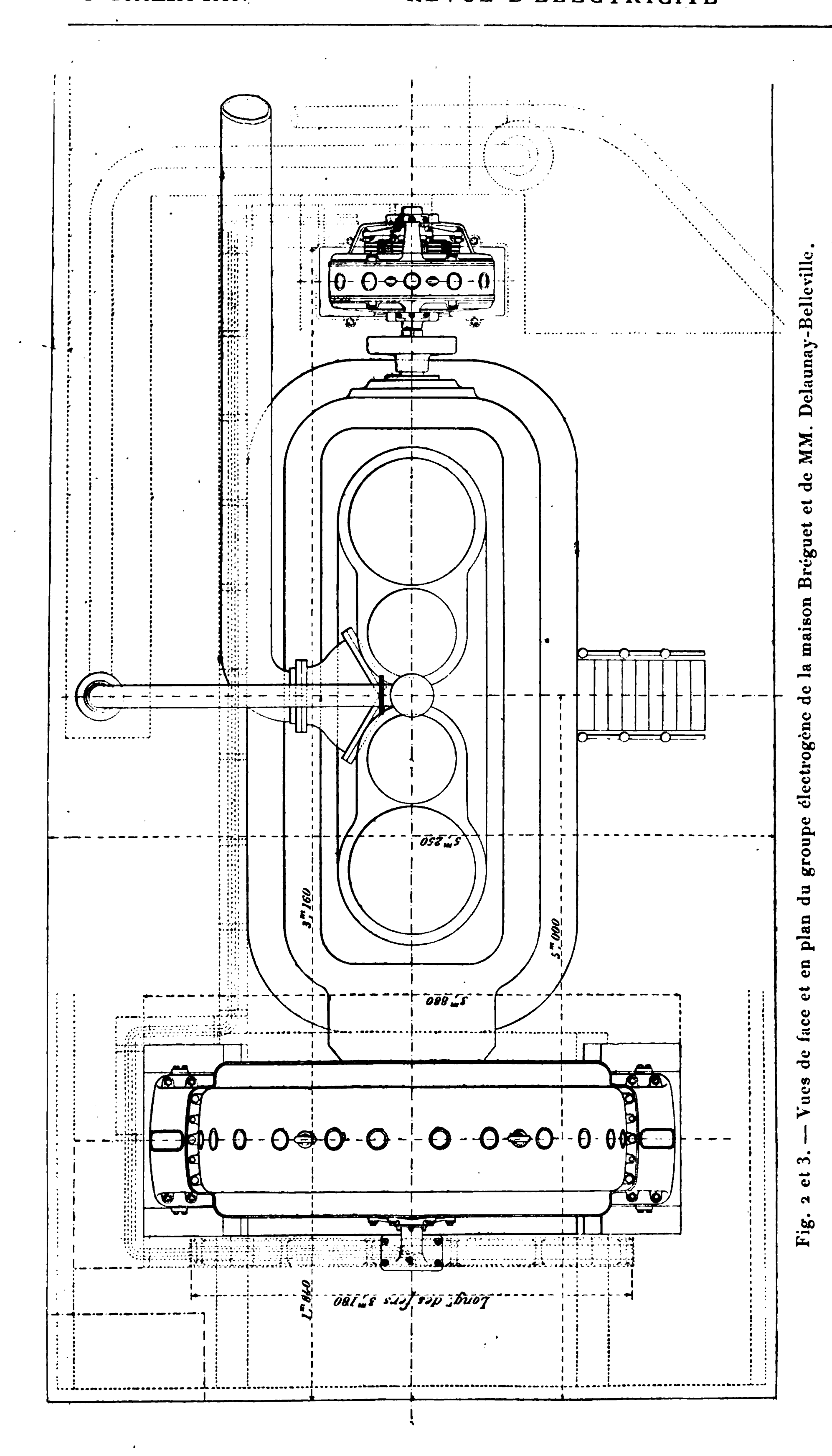


Fig. 2 et 3. — Vues de face et en plan du groupe électrogène de la maison Bréguet et de MM. Delaunay-Belleville.

L'excitatrice mérite une description plus complète eu égard à sa constitution toute spéciale ; et nous ferons d'abord une description de la dynamo à enroulements sinusoïdaux envisagée dans sa généralité,

C'est en quelque sorte une dynamo jouissant de propriétés inverses de celles d'un alternateur et donnant, *à une certaine vitesse*, du courant continu, lorsqu'elle est excitée avec du courant alternatif.

Cette machine dans laquelle le champ magnétique inducteur est alternatif ou tournant, permet d'obtenir entre des balais fixes, soit un courant continu si la vitesse de l'induit est reliée à celle du champ par un nombre simple tel que 1, 2, 3... 1/2, 1/3... etc., soit dans le cas contraire, un ou plusieurs courants alternatifs dont la fréquence est déterminée par une relation simple.

Prenons un anneau de fer R (fig. 4) identique à ceux

servant à enrouler les dynamos à courant continu ordinaires ; mais au lieu de mettre sur cet anneau un enroulement uniforme régulier, mettons deux enroulements dont les sections, au lieu d'avoir un nombre égal de spires, auront un nombre de spires variable tout le long de l'induit suivant une loi sinusoïdale, et seront connectées entre elles et avec le collecteur suivant l'un des schémas des figures 2 et 3.

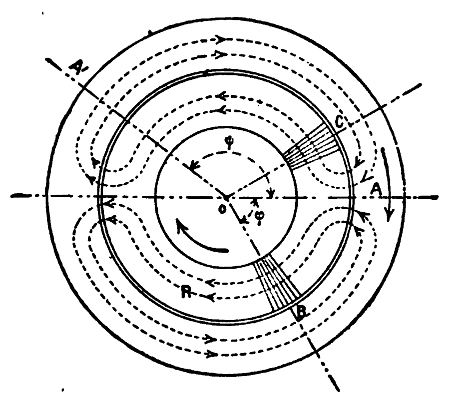


Fig. 4. — Principes de la dynamo à enroulements sinusoïdaux.

En nous reportant à la figure 1, nous aurons par exemple en B une section de $n \cos k\varphi$ spires en série avec une section placée en C et ayant $n \sin k\varphi$ spires.

Plaçons cet anneau dans un stator de moteur à champ tournant A, produisant un champ magnétique double — tel que celui indiqué en pointillé dans la figure — tournant dans le sens de la flèche avec une vitesse ω. Enfin, faisons tourner l'anneau dans le sens de la flèche avec une vitesse Ω.

Le calcul — trop long pour être fait ici — montre que s'il y a entre les vitesses du champ et de l'induit la relation

$$\omega = -k\Omega,$$

entre deux balais placés sur le collecteur, l'un en A, l'autre en A′ et faisant entre eux un angle ψ (fig. 1) déterminé par la relation

$$\psi = \frac{\pi}{k+1}$$

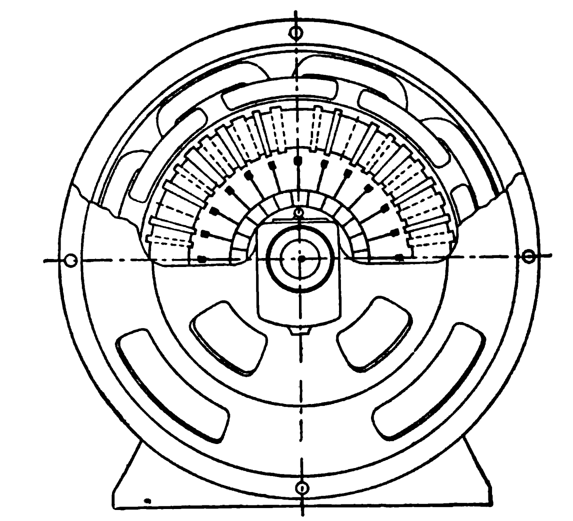
on recueille un courant continu ayant comme force électromotrice :

$$E = 2ne\Omega$$

(e, constante dépendant du flux).

Le champ magnétique tournant à la vitesse ω est obtenu très aisément à l'aide de deux courants diphasés passant dans deux enroulements fixés sur la partie fixe A (ou de trois courants triphasés passant dans trois enroulements).

Notre excitatrice à enroulements sinusoïdaux se compose donc, en principe, d'un inducteur identique à celui d'un moteur à champ tournant, et d'un induit ayant par son collecteur l'aspect d'un induit de machine à courant continu, mais différant de celui-ci par le fait que cet induit comporte deux (ou trois) enroulements sinusoïdaux au lieu d'un enroulement uniforme.


Fig. 5. — Vue de face de l'excitatrice à enroulements sinusoïdaux.

Le figure 5 donne une idée générale d'une telle machine.

Dans les formules ci-dessus, on peut donner à k toutes sortes de valeurs : 1, 2, 3... — 2, — 3..., etc., même des valeurs fractionnelles telles que 1/2, 10/8, 22/20 dans les machines multipolaires.

Mais toutes ces valeurs ne sont pas également intéressantes. Parmi elles, les valeurs $k = 1$ et $k = -2$ le sont plus.

La valeur $k = 1$ permet de faire l'excitation avec un courant alternatif simple. En effet, un champ alternatif simple peut être considéré comme la superposition de deux champs tournants, l'un de vitesse ω, l'autre de vitesse $-\omega$, le premier ayant la même vitesse que l'induit n'y induit aucun courant ; le système fonctionne donc comme s'il n'y avait qu'un champ tournant de vitesse $-\omega$.

La figure 6 est le schéma d'un induit de cette manière pour une machine à deux pôles.

La valeur $k = -2$ est intéressante en ce sens que l'excitatrice peut avoir moitié moins de pôles que son alternateur tout en n'ayant que deux balais par paire de pôles.

La figure 7 est le schéma d'un induit enroulé de cette manière.

C'est cette solution $k = -2$ qui est appliquée dans l'excitatrice de l'alternateur exposé.

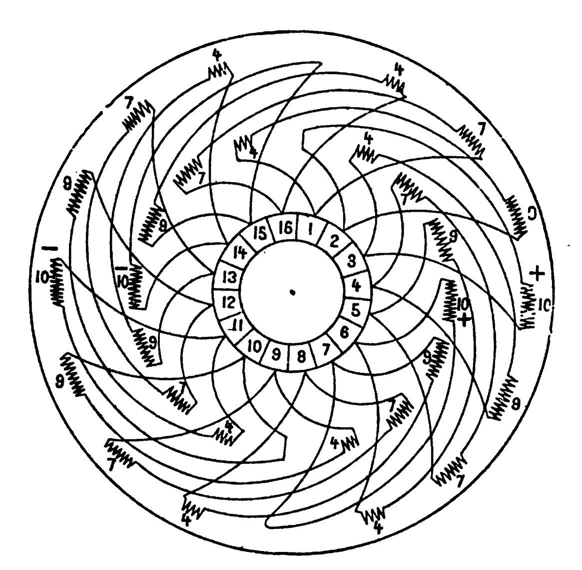


Fig. 6. — Enroulement d'un induit de dynamo à enroulements sinusoïdaux pour $k = 1$.

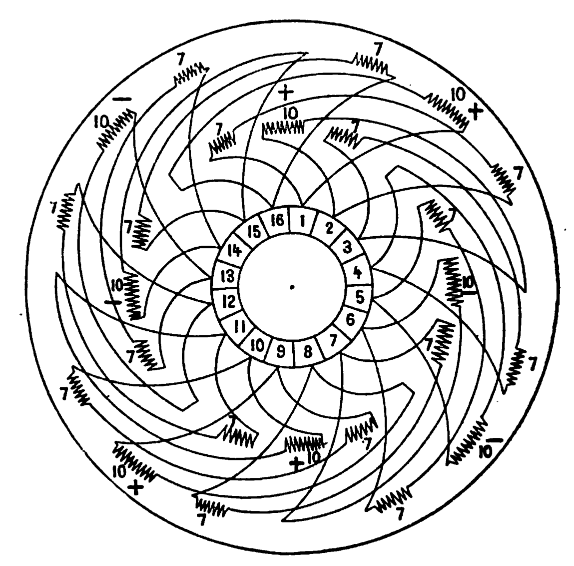


Fig. 7. — Enroulement d'un induit de dynamo à enroulements sinusoïdaux pour $k = -2$.

L'induit de cette excitatrice est directement sur l'axe de l'alternateur de la machine à vapeur, il tourne donc à la vitesse de 250 tours par minute. L'inducteur ayant douze pôles et étant parcouru par des courants à la fréquence 50 produit un champ tournant à la vitesse de 500 tours par minute. Le rapport k est donc $-\frac{500}{250} = -2$. C'est-à-dire que lorsque l'inducteur est excité par des courants triphasés de fréquence 50 exactement, venant de l'induit de l'alternateur, et lorsque l'induit tourne à 250 tours par minute exactement, on recueille sur le collecteur un courant continu pouvant servir à l'excitation de l'alternateur.

Pour que la tension de l'alternateur soit indépendante des courants débités et de leur phase, il suffit alors que le courant continu d'excitation varie suivant une certaine loi dans laquelle figurent les courants débités et leur phase. Si I_1 est la valeur du courant débité par un enroulement et φ sa phase, et s'il y a symétrie pour les trois courants de l'induit, le courant continu d'excitation doit être de la forme :

$$\sqrt{(A + BI_1 \sin\varphi)^2 + (BI_1 \cos\varphi)^2}$$

dans laquelle A et B sont des constantes dépendantes des éléments de construction de l'alternateur.

Il faut donc obtenir que, d'une façon en quelque sorte automatique, le courant d'excitation ait toujours cette valeur, et varie quand I_1 et φ varient.

Mais puisque la force électromotrice continue, que l'on recueille entre les balais de l'excitatrice est proportionnelle au flux inducteur de cette excitatrice, et que la différence de potentiel aux bornes de chaque enroulement de cet inducteur est aussi proportionnelle à ce flux inducteur, on peut en conclure que la force électromotrice continue, recueillie entre les balais, est exactement proportionnelle à la différence de potentiel aux bornes d'un des enroulements inducteurs. Il suffit donc, puisque la résistance de l'inducteur de l'alternateur est constante que la différence de potentiel aux bornes de l'un des enroulements inducteurs de l'excitatrice conserve toujours, à une constante près, une valeur égale à celle du radical ci-dessus. C'est ce que nous obtenons par la combinaison du transformateur de compoundage avec l'alternateur et l'excitatrice en réalisant le montage représenté par la figure 8 des dessins annexés, c'est-à-dire en intercalant entre l'induit de l'alternateur et l'in-

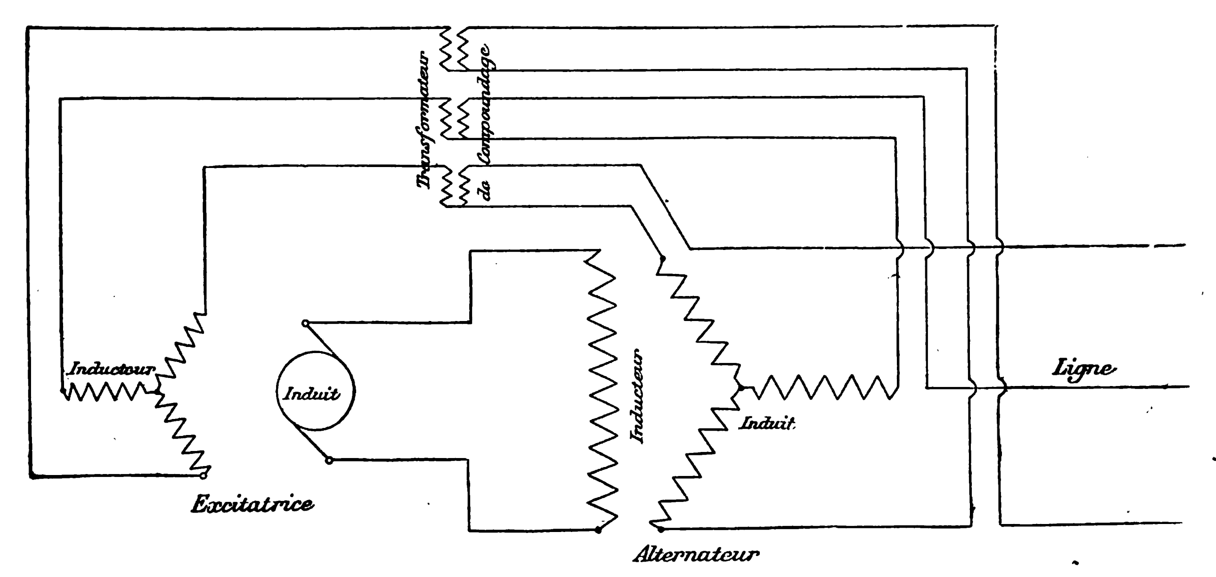


Fig. 8. — Schéma des connexions de l'alternateur et de l'excitatrice.

ducteur de l'excitatrice le secondaire du transformateur de compoundage dont le primaire est branché en circuit dans le courant principal débité par l'alternateur.

Les photographies des figures 9 et 10 montrent l'excitatrice et le transformateur de compoundage de l'alternateur exposé.

La machine exposée peut encore fonctionner comme génératrice asynchrone, c'est-à-dire comme génératrice dans laquelle le champ magnétique peut avoir une vitesse différente de celle des inducteurs, ces inducteurs étant excités, non plus par du courant continu, mais par des courants polyphasés d'une fréquence déterminée, ainsi que cela a été proposé pour la première fois par M. Tesla. (Brevet américain, n° 390721 du 9 octobre 1888) et plus récemment par M. Leblanc.

A cet effet, l'inducteur, au lieu d'être constitué par des proéminences massives entourées d'un enroulement, est constitué comme l'induit par des tôles percées de trous, dans lesquels passent deux enroulements pouvant recevoir deux courants d'excitation diphasés. (Dans la marche synchrone, on ne se sert que d'un seul enroulement.)

Les deux courants diphasés d'excitation sont encore fournis par la dynamo à enroulements sinusoïdaux. En effet, cette machine qui donne du courant continu quand la vitesse du champ et celle de l'induit ont entre elles le rapport k, donne un courant alternatif

lorsque ces vitesses ont entre elles un autre rapport. Si la vitesse du champ est :

$$\omega = -k\Omega + \varepsilon,$$

la force électromotrice entre les balais devient :

$$E = 2ne\left[\Omega - \frac{\varepsilon}{k+1}\right]\cos \varepsilon t$$

Et si nous plaçons sur le collecteur d'autres balais situés exactement au milieu des intervalles séparant les premiers, la force électromotrice entre ces balais est :

$$E' = 2ne\left[\Omega - \frac{\varepsilon}{k+1}\right]\sin \varepsilon t.$$

Nous obtenons ainsi les deux courants diphasés nécessaires à l'excitation de l'alternateur

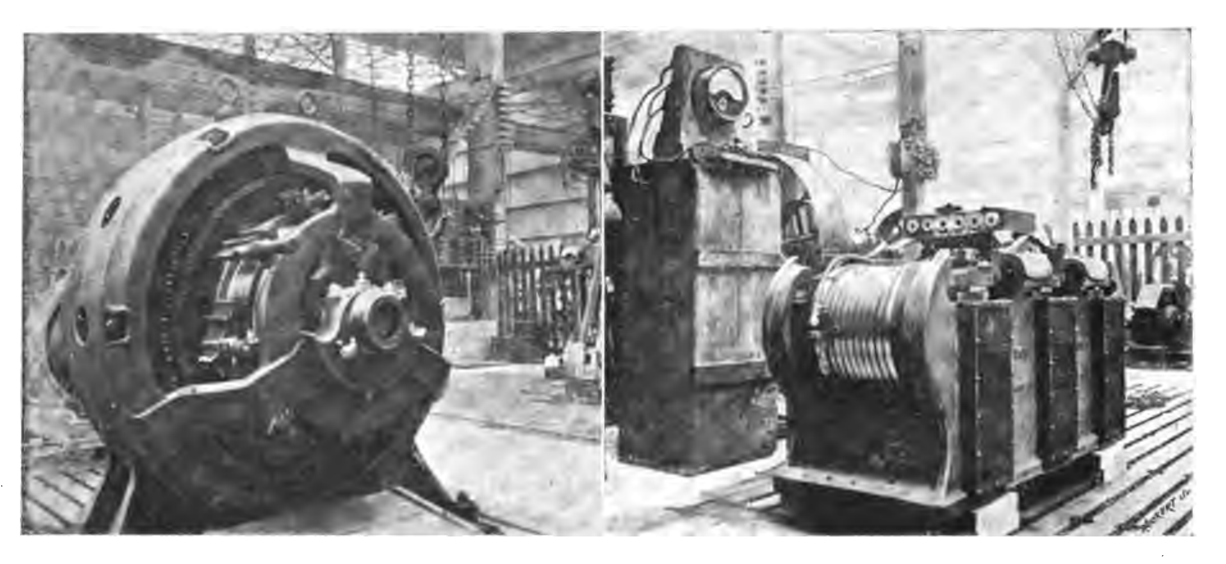


Fig. 9. — Excitatrice à enroulements sinusoïdaux de l'alternateur de 870 kilovolts-ampères de la maison Bréguet.

Fig. 10. — Transformateur de compoundage de l'alternateur de la maison Bréguet.

car leur fréquence a justement avec la vitesse de l'inducteur de l'alternateur et la fréquence des courants de son induit la relation fixée par M. Tesla dans le brevet sus-indiqué.

Bien que la machine exposée ne soit probablement pas appelée à marcher en génératrice asynchrone à l'Exposition, puisque l'administration a pris ses dispositions pour que chaque alternateur ait une ligne spéciale, nous n'avons pas cru inutile de donner ces explications afin de faire comprendre pourquoi son inducteur a une constitution particulière ne rappelant pas celle des autres alternateurs, et que cette constitution n'est nullement imposée par le compoundage seul.

La même machine pourrait d'ailleurs fonctionner encore selon une autre disposition dont nous ne dirons que quelques mots et que nous appelons « Panchrone ».

Dans cette disposition, la machine n'est plus une machine d'induction en ce sens que l'on commence par annuler toutes les forces électromotrices d'induction développées dans l'induction par le champ magnétique commun à l'inducteur et à l'induit.

Il en résulte alors, au point de vue du fonctionnement, que les courants débités par la machine ne sont plus fonction du *glissement* et que la puissance débitée est sensiblement indépendante de la vitesse, d'où le nom de « panchrone ». La machine fonctionne alors



comme si elle était seule et les variations de vitesse, venant soit d'un caprice du régulateur de la machine à vapeur, soit de variations de la pression des chaudières, soit de l'irrégularité dans un tour due aux coups de piston, n'ont pas d'influence sur les courants fournis par l'appareil au réseau, alors que dans une machine asynchrone, ces perturbations peuvent faire varier les courants débités dans des proportions *considérables*. (La charge d'une forte machine asynchrone pouvant passer de zéro au maximum pour un glissement de moins de 1 p. 100, on comprend quelle influence peuvent avoir, sur la puissance débitée, les coups de piston de la machine à vapeur, si celle-ci n'a que le coefficient de régularité d'une machine monocylindrique à volant ordinaire : 100 par exemple.)

L'introduction dans les circuits inducteurs de forces électromotrices annulant celles induites par le champ dans ces inducteurs (machine panchrone) a pour effet de supprimer ces inconvénients, presque aussi graves, à notre avis, que ceux des machines synchrones.

Nous pouvons arriver à ce résultat de plusieurs manières : 1° Par l'introduction dans les circuits inducteurs de notre excitatrice de bobines de self-induction à self-induction variable avec le glissement par une disposition mécanique. 2° Par l'introduction dans les circuits inducteurs de notre excitatrice de forces électromotrices, obtenues à l'aide d'une petite machine auxiliaire, et proportionnelles au glissement. 3° Par l'introduction, dans les circuits inducteurs de notre excitatrice, de condensateurs de capacités convenables.

Nous ne nous étendrons pas plus sur ces dispositions, qui ne sont d'ailleurs pas appliquées sur la machine exposée, celle-ci, ainsi que nous le disons plus haut, n'étant pas appelée à fonctionner à l'Exposition autrement qu'en machine synchrone.

Paul BOUCHEROT.

RIVEUSE ÉLECTRIQUE SYSTÈME KODOLITSCH DE LA SOCIÉTÉ VEREINIGTE ELECTRICITÆTS ACTIEN-GESELLSCHAFT DE VIENNE

La riveuse électrique du système Kodolitsch se distingue des machines similaires par ses petites dimensions[1]. Elle permet la mise en place de 1 200 rivets de 25 mm par journée de travail de dix heures et ses bouterolles peuvent exercer une pression de 40 tonnes sur les têtes de ces rivets ; cette pression est suffisante pour produire l'écrasement de rivets ayant 30 mm de diamètre.

Le principe de l'appareil consiste essentiellement à transformer la force vive d'une masse mise en mouvement par un moteur électrique en une pression des bouterolles sur le rivet.

Les organes mécaniques de la machine (fig. 1, 2 et 3) comportent un moteur électrique à courant continu placé dans le bâti et pouvant communiquer à une masse un mouvement de rotation par l'intermédiaire d'un accouplement magnétique, et une tige filetée fixée sur la masse et entraînant le levier de la riveuse au moyen d'un écrou faisant corps avec ce levier. Tous les coussinets sont pourvus de billes ainsi que l'indique la coupe (fig. 3) de l'appareil. Un disjoncteur automatique interrompt le courant au moment du choc des bouterolles de manière à éviter les courts-circuits dans le moteur.

Le fonctionnement est le suivant :

Le moteur à armature fixe et inducteur mobile tourne à vide en entraînant simplement les bobines de l'accouplement magnétique ; l'ouvrier, lorsqu'il veut faire une opération,

(1) Un modèle un peu différent de celui exposé a été décrit récemment dans *L'Éclairage Électrique*, t. XXV, p. 149, 27 octobre 1900.



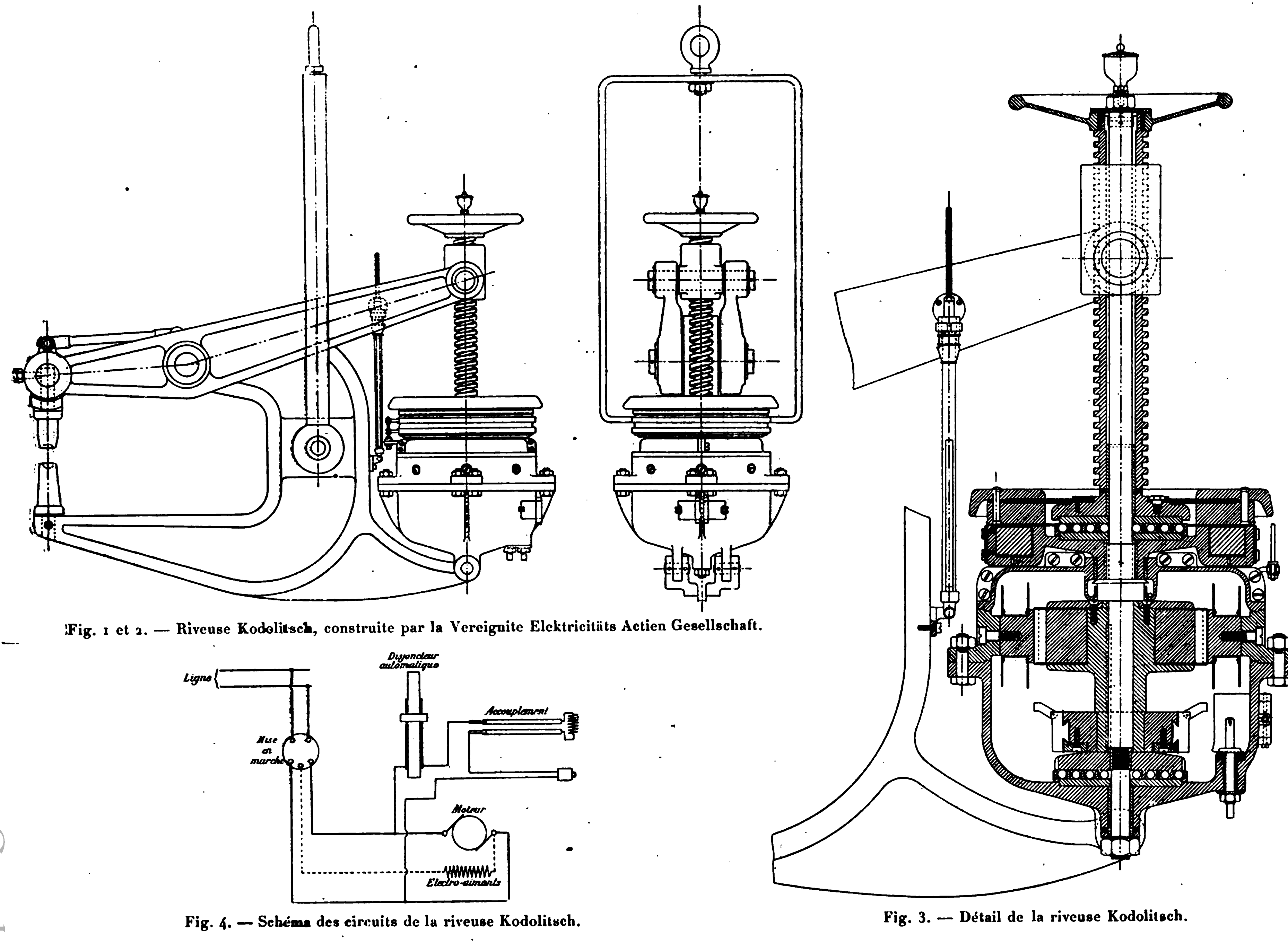


Fig. 1 et 2. — Riveuse Kodolitsch, construite par la Vereignite Elektricitäts Actien Gesellschaft.

Fig. 3. — Détail de la riveuse Kodolitsch.

Fig. 4. — Schéma des circuits de la riveuse Kodolitsch.

ferme le circuit de ces bobines ; il en résulte une forte aimantation des noyaux et par suite une attraction de la masse métallique qui se met à tourner avec le moteur. L'écrou, engagé sur la tige filetée de la masse métallique, se déplace le long de cette vis et entraîne le levier de la riveuse. En même temps le disjoncteur (fig. 4) est actionné et produit la rupture du courant au moment du choc des bouterolles. Ce choc renvoie le levier en arrière et l'écrou reprend sa position initiale. Dans ce mouvement le disjoncteur automatique rétablit le courant et l'appareil est prêt pour une nouvelle opération.

Il est à remarquer que l'énergie électrique ne sert qu'indirectement à la production de la pression. Elle est en effet transformée en énergie mécanique dans le moteur, puis elle s'accumule dans la masse sous forme de force vive et c'est finalement cette force vive qui produit la pression au moment du choc.

La puissance absorbée est d'environ 5 000 watts pendant la période d'entraînement de la masse métallique, et de 700 watts lorsque le moteur tourne seul.

Plus que dans tout autre appareil mécanique l'emploi de l'électricité comme agent de transmission de l'énergie est intéressant dans les riveuses. Ces appareils demandent en effet à être maniables et robustes, et ces conditions ne sont qu'imparfaitement remplies dans les riveuses hydrauliques à cause des tuyaux nécessaires pour l'amenée de l'eau sous pression, tuyauteries qui sont embarrassantes et en outre exposées à la gelée.

J. Reyval.

SUR L'EFFET MAGNÉTIQUE DE LA CONVECTION ÉLECTRIQUE

M. Potier nous adresse sur ce sujet la lettre suivante :

Paris, 25 novembre 1900.

M. V. Crémieu a fait à l'Académie des Sciences, le 5 juin, le 8 octobre et le 12 novembre 1900 [1], trois communications, dont la dernière en particulier, se termine ainsi : La convection électrique ne produit pas d'effet magnétique. *L'Éclairage Électrique* les a reproduites sans observations.

Il est bien connu que la plupart des physiciens admettent le contraire ; l'action d'un champ magnétique sur l'arc, sur les rayons cathodiques, s'explique si aisément dans les idées reçues, qu'il est naturel, avant d'abandonner cette manière de voir, de soumettre à une critique sérieuse les expériences ainsi interprétées.

Cette critique pourra peut-être être jugée prématurée, car les renseignements donnés par le très habile expérimentateur dans les comptes rendus sont nécessairement très succincts ; ainsi je pense qu'il vaut mieux ajourner toute réflexion sur la seconde communication ; mais il me semble qu'on peut, dès à présent, formuler quelques observations au sujet de la première et de la troisième. qui visent d'ailleurs plus directement la question de la convection électrique.

Il est parfaitement exact de dire que les équations bien connues de Maxwell conduisent à cette conséquence, qu'un corps chargé, pendant qu'il se déplace, est accompagné d'un champ magnétique ; lorsque la vitesse de déplacement est faible par rapport à la vitesse de la lumière, la force magnétique en un point est donnée par une formule analogue à celle de Laplace, $\frac{m\ v \sin\alpha}{r^2}$, si

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXIII, p. 429, 16 juin 1900 ; t. XXV, p. 131 et 326, 20 octobre et 24 novembre 1900.



r est la distance du point considéré au corps chargé de la quantité m d'électricité, v la vitesse de ce corps, et α l'angle de v et de r; il est non moins exact que si le champ ainsi créé se superpose à un champ magnétique préexistant, l'induction magnétique ayant des valeurs différentes à droite et à gauche du corps chargé, celui-ci sera sollicité normalement à sa trajectoire. Mais il n'est pas moins exact, suivant les idées de Maxwell et de Faraday, que cette force magnétique n'est pas une action à distance du corps électrisé en mouvement; elle résulte de la propagation dans l'espace du trouble apporté dans la distribution de la force électrique par le mouvement du corps chargé; si donc on localise (par exemple en enfermant ce corps dans un conducteur creux, ou entre les armatures d'un condensateur) la région dans laquelle cette perturbation électrique peut se propager, on limitera en même temps la région où peut naître le champ magnétique. Si l'on veut s'en référer aux équations de Maxwell, on dira : la force électrique en dehors du conducteur est invariable et admet un potentiel quelque soit l'état de mouvement du corps électrisé ; donc la force magnétique est invariable ; ou bien l'on dira que le déplacement des charges à la surface interne du conducteur compense au point de vue magnétique comme au point de vue électrostatique, l'effet du déplacement du corps électrisé.

Lorsque d'ailleurs ce corps électrisé est un disque plein, non divisé en secteurs, et mobile autour de son axe, on ne voit pas pourquoi le champ électrique varierait, même à l'intérieur du conducteur creux.

Ces considérations me paraissent applicables à la première et à la troisième communication de M. Crémieu.

Veuillez, etc.

A. Potier.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

DIVERS

Détermination du rapport entre la conductibilité calorifique des métaux et leur conductibilité électrique, par **E. Gruneisen**. *Drude's Ann.* t. III, p. 43-75, sept. 1900.

Les impuretés contenues dans un métal n'influent pas de la même manière sur la conductibilité calorifique λ et sur la conductibilité électrique x. Cette dernière est plus fortement diminuée, en sorte que le rapport $\frac{\lambda}{x}$ croît quand la conductibilité électrique diminue. Même pour le fer et le cuivre purs, le rapport $\frac{\lambda}{x}$ ne paraît pas avoir la même valeur. M.L.

Résistance du bismuth dans un champ magnétique variable. par **H. Eichhorn**. *Drude's Ann.* t. III, p. 20-43, sept. 1900.

La spirale de bismuth est fixée à un disque qui tourne devant les pôles de l'électro-aimant. Au moyen d'un commutateur approprié, solidaire de l'axe du disque, on peut mesurer la résistance de la spirale au moment où elle traverse une région déterminée du champ. On mesure de même cette résistance quand la spirale est au repos dans cette même région. Dans la première mesure, il faut éliminer la force électromotrice d'induction provoquée dans la spirale par la variation du flux magnétique : on y parvient en la compensant par la force électromotrice induite dans une spirale de cuivre, en série avec celle de bismuth et disposée de manière que ces deux forces électromotrices soient de sens contraires.

La variation de résistance du bismuth est en retard sur celle du champ : quand le champ croît, la résistance est plus petite que la valeur correspondante à la valeur instantanée du champ : quand le champ décroît, elle est plus grande. Le retard dépend de la rapidité avec laquelle le champ varie : il croît avec cette rapidité, jusqu'à ce qu'elle ait atteint un certain maximum, déjà dépassé par 100 fréquences par minute.

M. L.



Diminution de la pression osmotique causée par les actions mutuelles des charges électriques liées aux ions, par **H. v. Türin.** *Zeitsch. f. phys. Chem.* t. XXXIV, p. 402-409 1900, communiqué par l'auteur.

L'auteur considère une dissolution électrolytique occupant le volume d'une sphère. Il calcule l'énergie électrique que renferme cette sphère et la variation de cette énergie correspondant à une variation de volume $d v$. Cette variation d'énergie peut être mise sous la forme P $d v$, P étant la pression qui équivaudrait à l'action mutuelle des ions.

Le raisonnement suivi est inexact en un point au moins. M. Turin prend un ion positif en un point quelconque A de la sphère et cherche l'énergie électrique relative à cet ion et dit : La sphère contenant en tout N ions positifs, il en reste N-1 autres que A; le nombre des ions contenu dans une couche sphérique ayant A pour centre et pour épaisseur est

$$\frac{(N-1)\, \delta dc}{\frac{4}{3}\pi a^3}$$

$\frac{4}{3}\pi a^3$ étant le volume total de la sphère, S la surface de la couche sphérique. Cette formule est manifestement fausse : car le fait d'isoler l'ion A ne peut diminuer le nombre des ions contenus dans la couche sphérique considérée, à l'extérieur de laquelle se trouve A : ce nombre reste comme avant :

$$\frac{NS\, dc}{\frac{4}{3}\pi a^3}.$$

Mais on trouve alors que l'énergie totale de la sphère est nulle. M. L.

Influence des fils suspendus au primaire d'un excitateur de Righi sur la longueur des ondes émises, par **A. Lindemann.** *Drude's Annalen,* t. II, p. 376-397, juin 1900.

L'excitateur de Righi, dont il s'agit, est constitué par deux boules massives de 3,4 cm de diamètre; l'étincelle principale éclate dans l'huile et sa longueur est généralement de 0,7 mm. Deux autres étincelles dont la direction est perpendiculaire à celle de l'étincelle principale établissent la communication entre les boules de l'excitateur et les pôles de la bobine d'induction.

L'excitateur n'est pas muni d'un excitateur parabolique.

L'indicateur d'ondes est un élément thermoélectrique disposé comme l'a indiqué Klemencic. Deux fils très fins, l'un de fer, l'autre de constantan, sont soudés entre eux d'une part, et d'autre part à des lames de cuivre formant le résonateur. Ces bandes de cuivre sont repliées à leur extrémité de manière à former une coulisse dans laquelle on peut faire glisser d'autres lames : il est possible d'ajuster ainsi le résonateur à la longueur qui donne les meilleurs résultats. Une fois cette longueur trouvée, on mesure par la méthode du miroir et des ondes stationnaires la longueur d'onde qui lui correspond. L'intervalle de deux nœuds ne diffère pas sensiblement de la longueur du résonateur. En outre, la courbe de résonance présente d'autres maxima plus faibles qui répondent à l'une des vibrations supérieures du résonateur.

L'auteur a cherché ensuite comment les phénomènes se modifiaient quand on attache à chacune des boules latérales (qui terminent les fils reliés à la bobine en face des boules de l'excitateur) un fil tendu isolé. Dans ces conditions, l'excitateur émet des ondes dont la longueur est notablement plus grande ; l'intervalle de deux nœuds ne diffère pas beaucoup de la distance entre les deux extrémités libres des deux fils. Il faudrait en conclure que l'ensemble des fils et des boules de l'excitateur forment un seul excitateur analogue à celui de Hertz, idée émise déjà par M. Ascoli. Cependant les autres faits ne sont guère d'accord avec cette hypothèse. En effet, Righi a démontré que la longueur d'onde des oscillations émises par son excitateur dépend seulement des dimensions des boules entre lesquelles jaillit l'étincelle principale.

Il est plus probable qu'il se produit une réflexion. Les ondes dans les régions où l'excitateur présente une hétérogénéité, soit de forme, soit de matière : notamment aux points où jaillissent les étincelles.

Dans ce cas, outre le maximum de résonance principale, correspondant à l'ensemble du système, on doit en observer d'autres qui pourront être plus faibles.

C'est en effet ce qu'a trouvé M. Lindemann, comme le montrent les courbes de résonance reproduites sur les figures 1 et 2. Chacune de



ces courbes correspond à une longueur déterminée des étincelles latérales.

L'oscillation primitive subsiste quand les fils sont attachés à l'excitateur et on n'observe pas d'oscillation propre des fils.

L'excitateur formé par les boules et les fils rentre dans la classe des excitateurs composés, étudiés par J.-v. Geitler et par M. Wien, mais présente quelques particularités. Les unes tiennent à ce qu'une partie des capacités formant l'excitateur sont constituées par des fils; les autres tiennent à la présence des étincelles latérales.

Ainsi, les courbes de résonance obtenues avec l'excitateur sans fils, ne présentent qu'un maximum très net quoique peu prononcé. Les

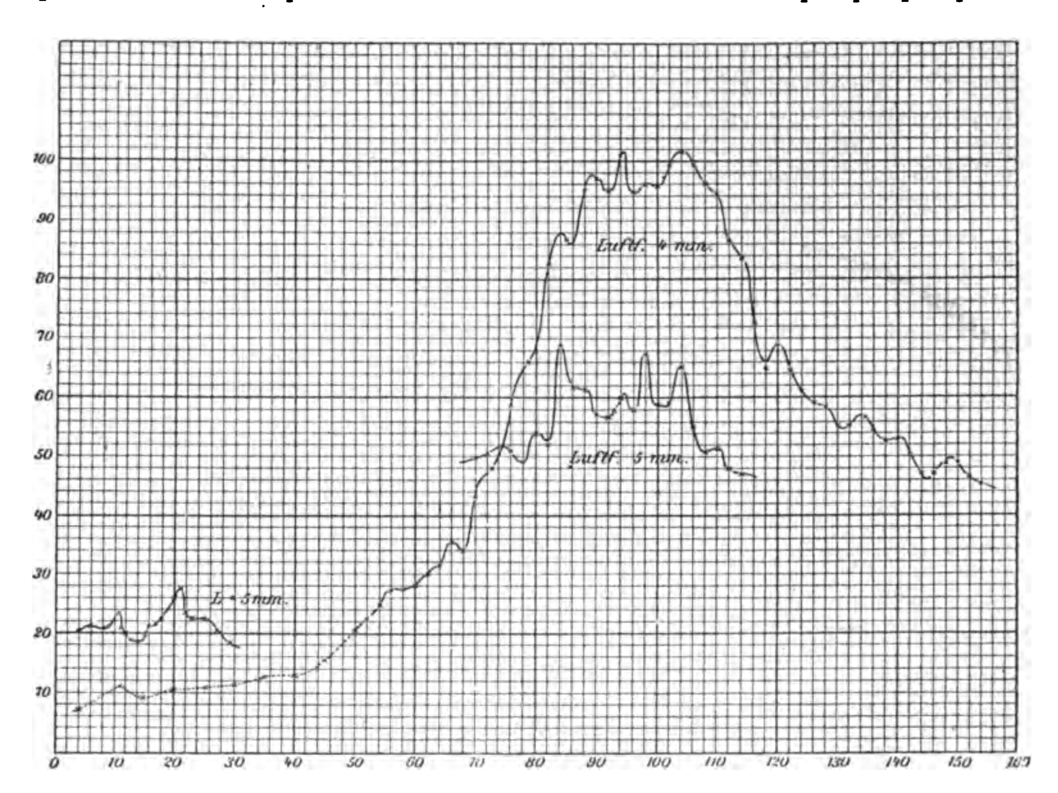


Fig. 1.

courbes obtenues avec l'excitateur muni des fils présentent tous les maxima provenant de la vibration primitive, même ceux qui correspondent à de grandes longueurs du résonateur; ces maxima sont à peu près de la même intensité et en général plus accusés que ceux enregistrés dans le premier cas. Les fils ne servent donc pas seulement à produire une onde de grande longueur qui donne le maximum principal observé sur les courbes de résonance, mais en même temps favorisent l'émission de l'onde primitive correspondant à l'excitateur sans fils. Par suite, les conditions de résonance deviennent moins rigoureuses et dans d'assez larges limites toutes les longueurs de résonateur satisfont également bien à ces conditions.

Le mouvement de l'électricité ne suit pas d'ailleurs simplement les impulsions de la bobine.

Les fils sont le siège d'oscillations propres, qui, se propageant dans un circuit entièrement métallique, sont peu amorties : c'est ce qui ressort des observations signalées. En effet, les maxima de résonance correspondant à l'onde primitive sont beaucoup plus nets avec l'excitateur muni des fils qu'avec l'excitateur sans fils. La même remarque s'applique aux maxima observés avec les ondes stationnaires.

Il est possible que la vibration la plus courte soit une des vibrations supérieures du système formé par les fils. Il ne paraît pas que ce soit le cas, car sa longueur ne varie pas d'une

manière systématique avec celle des fils. Cette longueur se rapproche plutôt de celle de la vibration primitive émise par l'excitateur sans fil. La différence s'exagère seulement quand le maximum principal devient plus prononcé, mais cette anomalie est due selon toute vraisemblance à des causes secondaires.

Le rapport entre les intensités de l'onde longue et de l'onde courte varie avec la longueur des étincelles latérales (qui éclatent dans l'air) l'intensité de l'onde courte augmente, celle de l'onde longue diminue à mesure que la longueur de ces étincelles devient plus grande. Cette variation résulte de l'effet qu'exerce sur l'amortissement de l'onde longue la résistance croissante des étincelles.

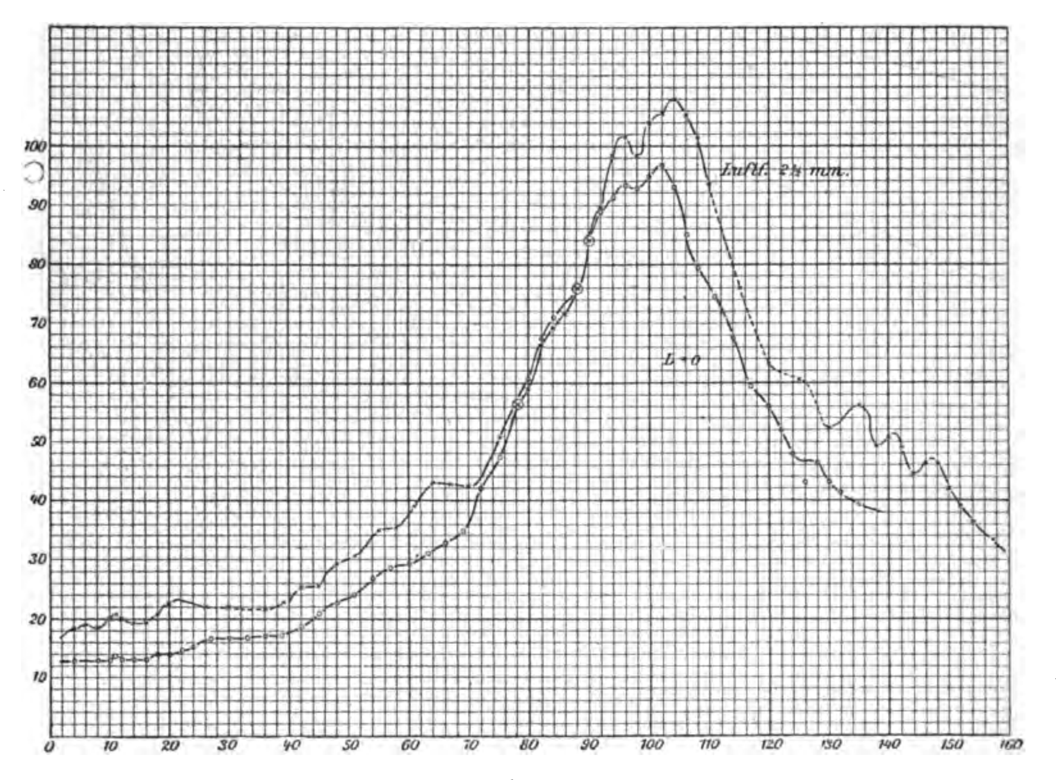


Fig. 2.

Dans les essais de télégraphie sans fil, l'excitateur et le récepteur étaient reliés tous les deux au sol, par l'intermédiaire d'une résistance liquide.

Dans ces conditions, on n'observe plus aucun maximum de résonance, c'est-à-dire de vibration d'ensemble : on trouve seulement une série de maxima plus petits, quoique très nets. Cependant, en maintenant constante la longueur du fil attaché à l'excitateur et faisant varier la longueur du résonateur, on obtient un effet croissant avec cette dernière longueur. Cet accroissement suit une loi à peu près linéaire : si donc l'onde plus longue existe, elle doit être d'un tout autre ordre de grandeur que l'onde correspondant à l'excitateur de Righi.

Enfin l'intensité avec laquelle réagit un résonateur accordé sur l'onde courte décroît, quand on y attache les fils, en gros à peu près suivant la même loi que dans un excitateur simple de Righi. La courbe relative à l'onde longue se présente simplement comme un agrandissement de la courbe relative à l'onde courte.

M. L.



SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 19 novembre 1900.

Sur les propriétés électrocapillaires des mélanges et la viscosité électrocapillaire, par **M. Gouy.**

Dans cette note, M. Gouy revient sur les effets des mélanges d'électrolytes en solutions aqueuses, dont il a indiqué en 1892 les traits essentiels (1).

« Dans mes expériences récentes, dit-il, le large mercure est avec du calomel dans une solution normale de KCl, qui communique par siphon avec l'auge de l'électromètre, où est placé un liquide L_1, qui est une solution assez concentrée (normale) d'un corps A, ou bien un liquide L_2, qui est la même solution additionnée d'une petite quantité d'un corps B $\left(\frac{1}{100}\right.$ de gramme équivalent par litre en général) (2). On trace les courbes électrocapillaires en prenant pour abscisses la différence de potentiel V du large mercure et de la colonne mercurielle.

» Les deux courbes de L_1 et L_2 coïncident sensiblement pour le côté négatif, à distance suffisante du maximum, c'est-à-dire pour les fortes polarisations négatives. Si l'on admet, comme je le ferai désormais, que les liquides L_1 et L_2 prennent sensiblement le même potentiel au contact de la solution normale de KCl, il en résulte donc que, dans cette région, la fonction électrocapillaire qui lie la tension superficielle à la différence électrique Δ au ménisque est la même pour les deux liquides L_1 et L_2.

» Il n'en est pas ainsi en dehors de cette région, surtout lorsque le corps B est un corps *actif*, c'est-à-dire tel que, déjà en solution pure très étendue (centi-normale), il produise une variation sensible du maximum, qui est toujours une dépression (3) (iodures, bromures, platinocyanures, sulfocyanates, sulfocarbonates, etc...). Le corps étant, au contraire, peu ou point actif, la courbe électrocapillaire de L_2 ressemble beaucoup à celle que donnerait le corps B seul. Ainsi *le corps actif supplante le corps inactif*, malgré la grande différence des concentrations. Le sens de l'effet du corps B est toujours une diminution de tension superficielle, à valeur donnée de V. De même un corps très actif (iodure) agit en présence d'un corps moins actif (bromure), tandis que, dans les mêmes conditions, un peu de bromure ajouté à beaucoup d'iodure ne produit rien d'appréciable. De petites quantités de deux corps actifs ajoutent au contraire leurs effets.

» La présence du corps inactif a même pour résultat d'exalter les propriétés du corps actif; ainsi, par exemple, une solution pure centi-normale de NaI donne une dépression du maximum de 10 mm, tandis que la même quantité de NaI, ajoutée à une solution normale de Na^2SO^4, donne une dépression double. Il suffit de quelques milligrammes par litre de corps très actifs pour modifier profondément les courbes des autres corps.

« En même temps, le maximum se trouve considérablement déplacé, toujours vers le côté des polarisations négatives; ce déplacement atteint 0,2 volt dans l'exemple qui précède. De là résulte, comme je l'ai déjà fait remarquer en 1892, que le maximum ne peut correspondre en général à $\Delta = 0$, comme on l'admet souvent, sans raison bien concluante. S'il en était ainsi, en effet, il faudrait que le liquide L_2, au contact de la solution normale de KCl, prît un potentiel tout autre que L_1, ce qui est très invraisemblable, et de plus la coïncidence des courbes du côté négatif devient alors inexplicable.

» *Viscosité électrocapillaire.* — Dans tout ce qui précède, il s'agit de la valeur finale de la tension superficielle. Celle-ci, avec les mélanges, dépend en effet de l'état antérieur et varie avec le temps, en sorte que, *pour une*

(1) Sur les phénomènes électrocapillaires (*Comptes rendus*, 1er février 1892. *Lum. Élect.*, t. XLIII, p. 389, 20 février 1892).

(2) Si le corps A est un sel neutre, il en est de même de B.

(3) Les corps qui relèvent le maximum ne produisent pas de variation sensible en solutions aussi étendues. [Voir ma note sur les fonctions électrocapillaires des solutions aqueuses. (*Comptes rendus*, 23 juillet 1900. *Écl. Élect.*, t. XXIV, p. 235, 11 août)].

valeur fixe de Δ, elle peut prendre une infinité de valeurs, dont une seule est stable; c'est ce que nous appellerons la *viscosité électrocapillaire.* Pour les valeurs de V où l'addition du corps actif ne produit pas de changement de la courbe électrocapillaire, l'électromètre se comporte à l'ordinaire et prend son état définitif en deux ou trois secondes; au contraire, quand le corps actif modifie notablement la courbe, le ménisque capillaire met un temps assez long (plusieurs minutes, ou plusieurs heures dans les cas extrêmes) à prendre sa position finale.

« Supposons l'état final obtenu et laissons V constant. Si nous augmentons la surface mercurielle en faisant descendre le ménisque, la tension superficielle est augmentée ; si nous diminuons cette surface, la tension est diminuée[1]. Dans les deux cas, la variation disparaît graduellement, et la valeur finale est de nouveau atteinte. Il en résulte que l'instrument, dans ces conditions, est paresseux, et n'obéit que lentement aux variations de pression ou de potentiel, un peu comme l'électromètre ordinaire quand une très grande résistance est sur le circuit, mais pour une autre raison.

» La viscosité électrocapillaire n'est pas sensible pour les fortes polarisations négatives ; elle se montre ailleurs (même au maximum) avec tous les corps actifs, et d'autant plus qu'ils produisent une plus grande diminution de tension superficielle. La marche est d'autant plus lente que le corps actif est moins abondant par rapport au corps inactif. La viscosité n'existe pas en général avec les corps purs, mais quelques-uns d'entre eux en montrent des traces, surtout vers l'extrémité anodique de la courbe, où les effets électrolytiques du courant altèrent un peu la pureté de la solution.

» Les phénomènes décrits dans cette note et dans la précédente paraissent indiquer qu'il s'exerce à la surface mercurielle une action élective, qui produit une accumulation des anions du corps actif, de préférence aux autres. L'état d'équilibre final entre les ions étant réalisé se trouve momentanément rompu quand cette surface varie, et se rétablit d'autant plus lentement que les anions actifs sont plus rares par rapport aux autres ; ce serait là la cause de la viscosité électrocapillaire. J'espère revenir bientôt avec plus de détails sur cette question. »

[1] Puisque le corps actif produit une diminution de tension, cela revient à dire que, dans le premier cas, l'effet du corps actif est incomplet, et que, dans le second, il est exagéré.

SYNDICAT PROFESSIONNEL DES USINES D'ÉLECTRICITÉ

Congrès de septembre 1900

Organisé par le Syndicat professionnel des Usines d'Electricité, ce Congrès a eu lieu le 26 septembre dernier, à la suite de l'Assemblée générale ordinaire de ce syndicat. Venant peu après le Congrès international d'électricité son utilité et son intérêt pourraient être contestables. Il n'en est rien car le Congrès international ne pouvait, par cela même qu'il était international, aborder certaines questions intéressant plus particulièrement les exploitants français d'usines électriques, et, en outre, le temps lui a fait défaut pour discuter comme il eût convenu quelques autres questions d'ordre général. Ces considérations étaient plus que suffisantes pour motiver l'ouverture d'un nouveau congrès entre personnes s'occupant d'une même branche de l'industrie électrique ; c'est ce que fait très justement ressortir M. Ferdinand Meyer, président du Congrès, dans son discours d'inauguration ; c'est aussi ce qu'ont pensé les membres du Syndicat qui, à l'issue du Congrès, ont demandé qu'un congrès ait lieu dorénavant à la suite de chaque assemblée générale.

Quatre questions étaient portées à l'ordre du jour. Chacune d'elles a été l'objet d'un exposé sommaire fait par le dévoué secrétaire du syndicat, M. E. Fontaine, et d'une discussion à laquelle ont pris part de nombreux membres du syndicat ; nous en donnons un résumé d'après le compte rendu sténographique publié dans le dernier numéro du *Bulletin des Usines électriques*.

I. — *Sur la production de la force motrice dans les usines électriques.*

La cherté annuelle du charbon rendait particulièrement intéressante la discussion des nombreux procédés préconisés en vue d'économiser la dépense de combustible pour la production de l'énergie électrique au moyen des machines thermiques, à vapeur d'eau ou à gaz.

Envisageant en premier lieu les moteurs à vapeur, M. E. Fontaine fait observer que, malgré

les grands efforts des fabricants de chaudières et les notables perfectionnements qu'ils ont apportés dans la construction de ces appareils, le rendement de ceux-ci est encore bien médiocre. Les moyens préconisés pour augmenter ce rendement sont de deux sortes : les uns, comme les économiseurs, les émulseurs, les surchauffeurs, etc., ont pour effet d'augmenter la quantité de vapeur produite par la combustion d'un même poids de combustible ou de donner de la vapeur dans des conditions telles que son utilisation par les moteurs se trouve être économique ; les autres, comme le soufflage des grilles par l'air ou l'envoi de vapeur d'eau dans les foyers, ont pour but d'augmenter la fraction de la chaleur dégagée par le combustible que la chaudière utilise.

Parmi ces derniers il en est qui, sans augmenter de façon appréciable le rendement de la chaudière, procurent néanmoins des économies en permettant l'utilisation de combustibles de qualité inférieure et partant bon marché. Un de ces moyens est le soufflage qui, avec des grilles appropriées, donne la possibilité de brûler des mélanges de résidus industriels (crasse des marchands de coke, résidus de nettoyage des tubes de chaudières, poussières d'anthracite, sciure et déchets de bois, etc.,), qui quelquefois sont à peine dignes du nom de combustibles, leur teneur en cendres atteignant 30 p. 100. Un autre consiste à ajouter au combustible un produit chimique oxydant (composé en majeure partie d'azotate de sodium) que l'on mélange en solution avec le charbon à raison de 1 kilogramme par tonne de houille.

Examinant ensuite la production de la force motrice à l'aide des moteurs à gaz, M. E. Fontaine fait ressortir les progrès considérables accomplis en ces dernières années dans la construction de ces moteurs qui sont aujourd'hui de sérieux rivaux des moteurs à vapeur. Il rappelle les essais heureux faits récemment de l'utilisation des gaz des hauts fourneaux, puis il décrit en quelques mots les types de moteurs à gaz les plus répandus ou les plus nouveaux : moteurs Charon, Lethombe, Duplex, Niel, etc.

La discussion [1] qui a suivi cet exposé a porté exclusivement sur les avantages économiques que peut procurer la surchauffe de la vapeur. Le Président a été d'avis qu'il serait utile de la re-

[1] *Discussion*. — M. Miet indique que la surchauffe est un moyen économique qui a beaucoup de succès à l'étranger.

M. Bizet annonce qu'il vient d'avoir l'occasion de visiter des usines à l'étranger et que presque partout il a vu les chaudières munies de surchauffeurs.

M. Brillouin dit qu'il a pu en faire l'application dans différentes usines. L'économie moyenne est de 15 ou 16 p. 100 au moins sur la consommation du charbon dans des usines bien installées.

M. Eschwège demande avec quelle pression de marche, en raison de ce que les joints et canalisations ne tiennent pas aux températures de surchauffe. Toutes les garnitures sont brûlées.

M. Brillouin indique que, sans chercher à faire de la vapeur surchauffée, en ayant tout simplement pour but de sécher d'avance les condensations qui doivent se faire ultérieurement dans les conduites de vapeur, dans les cylindres on obtient des résultats déjà extrêmement appréciables. C'est ce qui est fait dans les grandes usines de Belgique et du Luxembourg.

M. Brillouin précise, sur une question de M. Tricoche, que si l'on ne veut pas faire de véritable surchauffe, en se contentant simplement de sécher la vapeur on obtient déjà des résultats qui sont très appréciables.

M. Bizet indique qu'on peut obtenir de bons résultats avec la plupart des chaudières en surchauffant à 250°. On surchauffe ainsi véritablement la vapeur de 60° à 80° au lieu de simplement la sécher. Il est admis par les constructeurs de machines à vapeur que cette surchauffe ne nécessite pas de modifications à leurs types de machines.

M. Brillouin indique qu'il y a cependant nombre de précautions à prendre pour la mise en marche qui est un peu plus délicate, pour la mise sous pression de la vapeur dans les conduites et les cylindres. Il faut aller plus modérément, avec beaucoup de précautions. Il ne faut pas donner la vapeur immédiatement ; il est bon d'avoir prise par une conduite auxiliaire, de faible diadiamètre, et d'ouvrir un robinet de débit restreint pour chauffer les conduites d'abord et le cylindre.

M. Miet indique qu'il y a également des précautions à prendre dans la tuyauterie, notamment pour celle de cuivre, qui ne se prête pas au procédé.

M. Brillouin précise que cette question est susceptible d'intéresser particulièrement nombre d'adhérents ; il annonce qu'il y a une Société qui s'occupe spécialement de cette économie de surchauffe.

M. le Président conseille de demander à ceux des membres qui connaissent particulièrement la question de donner un article pour le Bulletin, à la rubrique *Tribune de l'Industrie*.

M. Brillouin indique que les maisons Belleville et de Naeyer sont en train de faire des études complètes dans leurs usines sur leurs propres chaudières. Il indique en outre que les papetteries d'Essonnes consomment par jour 400 à 450 tonnes de charbon. L'étude complète de l'application intégrale des surchauffeurs à toutes les chaudières est extrêmement avancée dans ces usines et donnera lieu à des communications ultérieures absolument édifiantes.

prendre après avoir rassemblé des données scientifiques et techniques sur cette question de la surchauffe et il a demandé à M. Brillouin de bien vouloir se charger de ce travail.

II. — ***Avantages et inconvénients des distributions locales à 70, 100, 200, 250 et 500 volts.***

Cette question a été déjà discutée au Congrès international d'Electricité, mais cette discussion n'a pas permis de se former une opinion bien nette.

L'augmentation de la tension de 110 volts, actuellement adoptée sur la plupart des réseaux de distribution urbains, semble en effet désirable pour plusieurs raisons. Les usines y trouveraient d'abord l'avantage d'augmenter la puissance de leurs réseaux sans avoir une perte en ligne plus importante. Les consommateurs de force motrice y trouveraient celui de pouvoir faire usage de moteurs moins encombrants, d'un meilleur rendement et d'un prix de revient moins élevé que les moteurs à basse tension. Ce dernier avantage ne pourrait manquer de favoriser le développement de la distribution de la force motrice par les usines électriques et par conséquent d'augmenter la quantité d'énergie fournie par celles-ci pendant le jour. Cette augmentation de la production diurne viendrait augmenter les bénéfices des compagnies de distribution qui se trouveraient dès lors en mesure de consentir des diminutions de tarif. Bref producteurs et consommateurs y trouveraient leur compte.

Mais il ne faut pas se dissimuler que l'emploi des tensions élevées sur les réseaux de distribution présente quelques difficultés. Bien des électriciens estiment que cet emploi entraînerait la nécessité d'un contrôle régulier, par les compagnies de distribution, des installations intérieures des abonnés. Or ce contrôle paraît pouvoir engager dans certains cas la responsabilité des compagnies : dans un conflit déjà ancien on a vu, en effet, qu'une simple lettre envoyée par un directeur de secteur à un abonné, disant à celui-ci de faire attention à l'isolement de son istallation, avait failli faire condamner le secteur à une forte amende à la suite d'un accident arrivé peu après sans que l'abonné ait remédié aux vices signalés. Dans ces conditions, surtout après les explications données au Congrès d'Électricité par M. Mailloux, délégué des Etats-Unis, sur les réglementations américaines poussées à outrance sur l'initiative des compagnies d'assurances à la suite de mauvaises installations, il ne semble pas qu'on doive s'exposer à la suppression du régime libéral que l'on suit actuellement en France.

D'autre part des critiques assez nombreuses se sont élevées sur le rendement des lampes à 200 volts. Ces critiques sont-elles fondées ? Au Congrès d'Electricité la constatation a été faite qu'il y avait des opinions pour et contre.

Enfin, la substitution d'un voltage élevé au voltage actuel pourrait peut-être donner lieu à des difficultés d'ordre contentieux. M. de Fodor, directeur de l'usine de Budapest, a en effet prétendu que cette substitution serait de nature à amener des protestations valablement légales de la part des clients.

M. Fontaine ne croit pas qu'en France on rencontre de pareils obstacles. Quant à la question du rendement des lampes à 200 volts. il pense que le Congrès pourra contribuer à l'éclaircir, un certain nombre d'usines fonctionnant à 200 volts depuis dix-huit mois ou deux ans, s'y trouvant représentées.

A la suite de cet exposé une discussion [1] très

---

[2] *Discussion.* — M. Bizet indique qu'il a pris connaissance des objections du Congrès sur la distribution du courant à 200 volts. Il a retenu comme peu sérieuses plusieurs de ces objections, mais il n'avait pas remarqué celle relative au contrôle qui est très importante. Il estime qu'il est nécessaire dans une station centrale de faire un contrôle sur les installations, mais qu'il est utile d'éviter, autant que possible, d'engager sa responsabilité vis-à-vis des abonnés. Il pense que la précaution à prendre dans ce cas est simplement de faire établir par les Municipalités un cahier des charges indiquant les conditions que doivent remplir les installations, de telle manière que le concessionnaire puisse refuser de donner le courant à toute installation, qui ne remplirait pas les conditions prescrites. Les conditions du cahier des charges étant indiquées par la Ville, la responsabilité du concessionnaire n'est pas engagée ; il est simplement libre de faire comme il l'entend et par conséquent de refuser le courant à tout abonné dont l'installation ne remplirait pas les conditions requises. Il est nécessaire, à son sens, d'avoir ce contrôle sur les installations. En effet, la concurrence entre les installateurs est plus importante aujourd'hui dans les installations d'électricité que dans nulle autre industrie. On rencontre à cet égard des différences de prix considérables. Certains installateurs demandent un prix incroyable de bon marché de 5 fr. par lampe, alors que d'autres la font payer 25 fr. La différence entre ces deux prix ne peut provenir que de la défectuosité de l'instal-



intéressante et instructive s'engage entre les membres du Congrès.

---

lation ou de la moins bonne qualité du matériel fourni. Il est donc utile de se prémunir contre les installations trop sommaires et pour lesquelles toutes les précautions ne seraient pas prises ; il pourrait en résulter des accidents qui auraient une répercussion très fâcheuse pour l'électricité ; on pourrait faire croire que l'électricité est dangereuse, ce qui n'est pas exact pour les installations bien faites. Pour les installations appartenant à la station d'autre part, le contrôle est également nécessaire.

M. Brillouin indique qu'il ne croit pas dangereux pour le concessionnaire de faire ce contrôle, puisqu'il consiste dans la mesure de l'isolement que présente l'installation, constaté sur une petite feuille spéciale au moment de la réception de l'installation. Cette formalité s'exerce au moment de la réception pour décider la livraison du courant, mais elle ne saurait engager le concessionnaire pour ce que sera l'isolement deux ou trois mois après.

M. F. Meyer indique que c'est là précisément le point délicat. Il dit que pour avoir une sécurité complète, il faudrait faire au moins tous les trois mois une visite détaillée de chacune des installations desservies.

M. Eschwége indique que ce procédé est adopté par certains Secteurs, notamment pour ceux qui ont un voltage élevé.

M. F. Meyer indique qu'autrefois il faisait des vérifications trimestrielles. L'accident dont a parlé M. Fontaine est arrivé à un secteur parisien. La Compagnie d'assurances a dit que le Secteur savait que l'installation était mauvaise et qu'elle devait par suite couper le courant. L'affaire a été renvoyée devant un expert qui a été pendant longtemps d'avis que la Compagnie électrique était coupable, que sa responsabilité pouvait être engagée. Le Secteur a été finalement mis hors de cause, mais à partir de ce moment les vérifications des installations ont été supprimées.

M. Brillouin croit que M. F. Meyer envisage deux questions distinctes : accident qui peut être produit à l'usine par suite du défaut venant de chez le client et accident pouvant être produit chez le client. Il dit que dans les vérifications faites par l'usine, on doit regarder que l'usine ne se préoccupe que des accidents qui peuvent lui revenir et dire aux clients que s'il arrive tel accident par suite du défaut d'installation, la responsabilité leur en incombera.

M. F. Meyer dit que ce système présenterait des inconvénients graves et pourrait empêcher de prendre l'électricité.

M. Bizet n'est pas d'avis de faire les vérifications trimestrielles ; il n'est pas non plus d'avis de communiquer aux clients au moment de la réception, les résultats de la vérification faite chez eux, seulement il dit que si l'on est armé par des réglementations posées par la Ville, on peut refuser le courant. Il n'y a aucun danger pour la station à dire à l'abonné, au moment où l'on met son installation en service : « Votre installation ne remplit pas les conditions ; veuillez donc faire le nécessaire. »

M. F. Meyer convient que ces prescriptions conviennent au début, mais ne donnent pas la règle de conduite pour la suite.

M. Bizet dit que les accidents qui peuvent arriver par la suite dépendent en grande partie de l'installation initiale.

M. Schiltz approuve M. Bizet.

M. Brillouin indique que la vérification de l'installation initiale ne renseigne pas sur la durée possible de la valeur de l'installation. Toutefois une installation faite avec soin et reçue, offre peu de risques. Les Compagnies d'assurances considèrent le risque comme nul et ne demandent, en France aucune surprime.

M. F. Meyer prie ensuite M. Bizet de donner quelques indications sur la question des lampes à 200 volts.

M. Bizet indique qu'il a été surpris de voir les chiffres donnés au Congrès international d'Electricité ; un savant anglais, notamment, a indiqué qu'elles consommaient 7 à 8 watts par bougie.

M. Fontaine indique que ce savant est M. Sylvanus Thompson, et que le club scientifique de M. S. Thompson a refusé de recevoir pour lui une installation à 200volts

M. Bizet indique qu'une enquête très sérieuse a été faite en Angleterre par un des directeurs de la Compagnie générale d'Electricité qui a été mis en rapport avec plusieurs directeurs de secteurs anglais. Cette enquête a démontré que la plupart des installations visitées, qui étaient auparavant à 110 volts, ont été transformées à 220 volts. A la suite de cette enquête il a été décidé de mettre la station de Nancy au régime de 220 volts. L'installation de Nancy a présenté à l'origine les plus grandes difficultés possibles au point de vue de la transformation de la station. Il s'agissait, en effet, d'une installation de 12 à 13 000 lampes alimentées, partie en courant continu et partie en courant alternatif ; de plus ces lampes avaient été installées par diverses Sociétés avec des réglementations différentes. On a dû transformer toutes ces lampes. Néanmoins ces transformations ont été achevées graduellement au bout d'un an, et passé ce délai, toutes les lampes étaient alimentées par du courant à 220 volts. Il ne s'est pas produit dans les installations transformées, d'accident digne d'être noté, par suite de l'emploi du courant à 220 volts chez les abonnés qui avaient auparavant du courant à 110 volts. Il n'y a pas eu de difficultés contentieuses méritant d'être signalées, et actuellement tous les abonnés sont dans des conditions normales.

Avant même de faire l'enquête en Angleterre, on s'était préoccupé de savoir si on pourrait avoir couramment des lampes de 220 volts. A la suite de demandes provenant notamment d'Angleterre, la Compagnie générale des Lampes à incandescence s'était organisée pour les fabriquer. Un certain nombre en fut adressé à la station centrale de Rouen où des essais ont été faits : ils ont donné des résultats pouvant être acceptés. On a obtenu des lampes ayant une durée de

III. — *Lampes à incandescence économique.*

Après avoir mentionné le magistral rapport de M. Blondel au Congrès international d'élec-



tricité sur l'éclairage par arc ou par incandescence (voir ce journal, t. XXIV, p. 342 et 464, 1er et 22 septembre 1900), M. Fontaine rappelle quelques-unes des nombreuses tentatives faites en vue d'abaisser le nombre de watts consommés par bougie.

En 1895-96, un jeune ingénieur de l'École de physique et de chimie, M. de Mare, est parvenu à transformer des lampes de 25 bougies en lampes de 200 bougies, simplement en plongeant les filaments, traversés par un courant, dans des solutions appropriées; la consommation était alors de moins de 1 watt par bougie. Malheureusement des difficultés ont rendu impossible la fabrication industrielle de ces lampes.

D'autres inventeurs ont cherché à augmenter l'intensité luminaire dans la direction où l'on désire un fort éclairement; de là les lampes à réflecteur comme la « Glow lamp » ou les

---

500 heures et une consommation d'environ 3,5 watts par bougie. Il n'a pas été fait à ce moment d'expériences de photométrie; car le photométrage exact était difficile étant donnée la forme des filaments de ces premières lampes.

La maison Schuckert qui avait un intérêt considérable dans la question, étant donné le grand nombre de ses installations, a fait peu après des essais sur les lampes de 220 volts de la Compagnie générale des Lampes et a envoyé les résultats qu'elle avait obtenus et qui sont ceux-ci :

Elle avait à essayer 10 lampes de 16 bougies de 220 volts, l'intensité lumineuse a baissé successivement de 16,5 à 13,8 en 400 heures.

L'intensité du courant a baissé de 0,253 à 0,246.

Le wattage par bougie a été en moyenne de 3,5 watts, chiffre admis en général dans les stations centrales.

Au bout de 400 heures une lampe a brûlé, mais les autres ont encore continué au-delà.

Ces essais indiquent que pour une durée de 400 heures ces lampes ont eu une baisse de courant qui a été d'environ 15 p. 100. La consommation moyenne en watts par bougie des lampes essayées augmentait d'une façon proportionnelle à la diminution de leur pouvoir éclairant. Ces essais ont eu lieu dans les années 1897 et 1898.

M. F. Meyer indique que les Compagnies qui n'ont plus à faire une dépense de canalisations aussi considérables que par le passé, peuvent vendre le courant meilleur marché et faire alors profiter la clientèle des avantages ainsi obtenus.

M. Bizet dit qu'en effet avec cette distribution à 220 volts, on peut réaliser sur les canalisations une économie appréciable. A Nancy il est résulté une économie de 2/5 environ pour un réseau souterrain qui constitue près de la moitié de la dépense totale de la station.

Une station centrale ne peut considérer cet avantage comme devant lui profiter exclusivement, mais comme une arme de plus pour lutter contre la concurrence des autres modes d'éclairage. On peut avoir dans une ville un monopole de longue durée, mais fatalement par suite de cette concurrence du gaz, les électriciens sont obligés, dans leur intérêt même, de diminuer leurs prix et de faire bénéficier le public de l'amélioration apportée à leur installation, par suite de la distribution à 220 volts.

En ce qui concerne les lampes à arc, M. Bizet dit que l'objection faite n'a pas grande valeur. Que les lampes soient groupées par 4 ou par 6 au lieu de 2 ou 3, elles sont utilisées généralement dans des grands locaux qui en nécessitent bien davantage. A Nancy le nombre de lampes à arc chez les abonnés est de 450, il en existe moins de 20 chez des abonnés ne possédant qu'un groupe. Chez ces abonnés on peut mettre des lampes Jandus par exemple ou toutes autres analogues.

En ce qui concerne l'avenir, la question est résolue au point de vue de la distribution à 220 volts si on envisage la lampe Nernst et l'économiseur Weissmann. La lampe Nernst est faite couramment pour fonctionner à 220 volts; au point de vue de l'économiseur Weissmann, il n'y a pas plus d'intérêt à avoir du courant à 110 volts qu'à 220 volts.

M. Brillouin dit qu'avec la distribution à 220 volts il y a non seulement une grosse économie sur les canalisations, mais en outre les réseaux ont beaucoup moins de perte, sont beaucoup mieux réglées, donnent moins de variation aux lampes des clients. Les lampes sont beaucoup plus constantes lorsqu'elles ont un voltage absolument permanent. Ces avantages très réels donnent une plus grande satisfaction aux clients.

M. Tricoche indique que les lampes de la Compagnie Générale des Lampes dépensent pratiquement 3,5 watts; il a constaté une différence de 10 p. 100 entre les lampes à 220 volts et celles de 110 volts. Pour les petites stations en prenant la consommation globale on arrive avec ces lampes à 3,4 watts environ. Les lampes poussées donnent habituellement 3,2 watts.

Beaucoup de stations qui, dans les petits bourgs, les petites villes, sont obligées de pousser très loin les lampes, ont un avantage considérable à employer ce système.

Dans une petite ville avec les lampes de 110 volts la dépense de premier établissement eût été telle que l'installation aurait été impossible, parce qu'il fallait amortir sur un laps de temps trop court.

M. Bizet indique qu'à la station d'Amiens l'installation est tout à fait neuve; il n'y a pas eu de transformation à faire. Il y a pour l'éclairage public 2 800 lampes en service depuis quelques mois. Des vérifications ont été faites récemment pour se rendre compte de ce que consommait l'éclairage public et on a obtenu comme résultat global 35 watts par lampe de 10 bougies.

M. Brillouin dit qu'à Niort des clients ont fait des réclamations au sujet de la transformation des lampes à 200 volts, mais elles n'ont pas eu de suite puisque tout avait été accepté à l'origine.

M. le Président résume la discussion en disant que les communications faites seraient en somme favorables à l'emploi des distributions à 200 volts.

lampes Saymar avec cylindre de porcelaine.

La recherche d'un filament économique a été de nouveau entreprise par de nombreux expérimentateurs. Au Congrès d'électricité, M. Ayrton appelait l'attention sur un filament à base de carbure de silicium fabriqué par M. Langhaus et ne consommant que 1,7 à 1,13 watt par bougie pour des intensités lumineuses de 18 à 72 bougies. La lampe Nernst marque une nouvelle étape dans ce genre de recherches; la consommation par bougie ne dépasse guère 1 watt. M. Weissmann est parvenu à réduire la consommation des lampes à courant alternatif en employant des filaments de divers diamètres suivant la puissance lumineuse demandée et en les alimentant par des courants de basse tension obtenus au moyen d'un transformateur branché sur le réseau de distribution; certains essais ont montré que la consommation d'une lampe de 16 bougies alimentée sous 20 volts, n'est que de 1,6 watt par bougie.

« De ce qui précède, il résulte l'impression, dit en terminant M. Fontaine, qu'une lampe dépensant notablement moins de 3,5 watts par bougie ne saurait tarder beaucoup à se produire industriellement. Il y a toujours malheureusement une question qui vient entraver le progrès : c'est le prix que les inventeurs demandent quand ils croient avoir découvert une lampe. Avant de pouvoir se rendre compte si cette lampe est absolument pratique dans la fabrication industrielle, ils demandent une somme considérable comme prime fixe de leur invention, et nous croyons que beaucoup d'inventeurs qui peuvent avoir d'excellentes idées, gagneraient beaucoup et feraient gagner le public et les industriels, s'ils admettaient que leur lampe doit être mise en exploitation sans un débours considérable, se contentant d'avoir une part sur l'économie réalisée ».

Cet exposé est suivi d'une courte discussion que nous reproduisons ci-dessous ([1]).

([1]) M. Brillouin demande des indications sur la consommation des lampes de 100 volts marchant à 120 volts.

M. F. Meyer dit que ce sont des lampes poussées. Les lampes de 100 volts donnent comme consommation de moins de 3 watts par bougie et durent 150 heures. Au bout de 150 heures on enlève les lampes.

M. Brillouin demande si l'on fait remplacer les lampes chez les clients.

M. F. Meyer dit qu'il s'agit d'une expérience personnelle; il a réduit sa consommation de 12 à 20 p. 100. Dès qu'elles sont noires on les enlève pour les changer; elles coûtent d'ailleurs au détail 10 ou 11 sous au plus aujourd'hui.

M. Tricoche dit que d'une façon générale il marche toujours à 5 ou 6 volts au-dessus du voltage indiqué sur les lampes.

M. F. Meyer dit qu'il emploie même des lampes à 95 volts.

M. Brillouin dit que pour les clients qui veulent comprendre, ce système marche très bien.

IV. — *Tarification de l'énergie électrique.*

Dans l'exposé qu'il fait de cette question, M. Fontaine indique les communications qui ont été faites sur ce sujet au Congrès international d'Électricité ainsi que les discussions auxquelles elles ont donné lieu. Le compte rendu en ayant été donné dans ce journal (t. XXIV, p. 416, 15 septembre 1900), nous nous bornons à donner ici la conclusion de l'exposé de M. Fontaine.

« L'appareil de Wright constate brutalement et peut inquiéter l'abonné comme appareil de contrôle. Il a l'infériorité sur le compteur Brown et Routin de ne pas tenir compte des heures chargées ou non de l'usine. A ce point de vue un compteur à cadrans multiples paraît désirable. Il devra être simple, bon marché, précis et ne nécessiter aucun contrôle exagéré. Dans ces conditions, ce compteur idéal, facile à comprendre pour le client, tardera encore quelque peu à se révéler et à être mis en pratique. D'ici là, chaque Directeur d'usine doit faire varier ses procédés de tarification commerciale, selon la catégorie de clientèle en présence de laquelle il se trouve. Les plus simples seront dans tous les cas les plus appréciés. »

La discussion qui suit cet exposé a porté sur un point particulier de la question : l'exactitude des compteurs électriques ([1]).

([1]) M. Brillouin dit que ce système des contrôles n'est pas pratique.

Divers membres, notamment MM. F. Meyer et Eschwège, indiquent que plus on multiplie les appareils de contrôle, plus on indispose les clients. Ils cherchent à fausser les appareils et la situation devient encore plus difficile. Sauf indications complémentaires, le mieux paraît être d'agir suivant le caractère de la ville et celui de l'habitant.

M. Brillouin s'élève contre ce fait que dans beaucoup de villes où les Compagnies de Gaz font concurrence à l'électricité elles cherchent à répandre l'idée que les compteurs à gaz sont très précis, ce qui semble être une erreur profonde, et qu'au contraire les compteurs électriques ont une précision très éloignée de la réalité,

V. — *Questions diverses.*

Le Président soumet au Congrès l'adoption de trois vœux.

---

alors qu'ils constituent presque des appareils de précision et de laboratoire.

Il estime qu'il faudrait avoir une série d'essais presque officiels permettant de répondre à ces bruits malveillants.

M. Meyer dit qu'on pourrait demander à M. Laffargue, qui est présent, des renseignements à ce sujet, ou s'adresser à M. Roux, directeur du Bureau de Contrôle qui s'occupe principalement des vérifications de compteurs et surtout de compteurs suspects et qui sera un des collaborateurs assidus de notre Bulletin.

M. Laffargue précise qu'il n'est pas chargé officiellement de faire la vérification des compteurs. Les compteurs à vérifier sont envoyés à l'usine des Halles où ils sont soumis au contrôle et à diverses expériences de vérification, mais il a eu l'occasion, dans différentes circonstances, de pénétrer chez les clients et il a entendu faire très souvent l'observation dont parlait M. Brillouin. En effet, le client est persuadé que le compteur à gaz est toujours plus exact que le compteur électrique. Il répond chaque fois que le compteur à gaz lui donnait toujours exactement tout ce qu'il brûlait mais qu'au contraire le compteur électrique ne marquait pas exactement et augmentait la consommation.

Le compteur électrique varie en moyenne de 4 à 5 et 6 p. 100 suivant les résultats obtenus à Paris et ces compteurs fonctionnent dans de bonnes conditions.

M. Brillouin dit qu'avec certains anciens compteurs s'il n'y a que deux ou trois lampes allumées dans les installations électriques, la moyenne change dans des proportions relativement grandes au détriment du secteur : les Compagnies du Gaz en tirent cette conclusion que les compteurs marquent des erreurs considérables. Ce serait pour pouvoir opposer à ces dires un document officiel qu'il serait intéressant d'avoir un résumé de constatations officielles qu'on pourrait faire imprimer.

M. Ferdinand Meyer dit qu'on pourrait prendre, par exemple, un secteur qui indiquerait sur x compteurs installés, y ayant donné lieu à vérification, les autres x-y sont reconnus par tout le monde, par la société et par les clients, comme parfaits. C'est la seule façon à adopter.

M. Brillouin confirme l'intérêt qu'il y a que les expériences soient faites sur des compteurs en général et non pas seulement sur des compteurs ayant donné lieu à des réclamations.

M. Fontaine précise qu'il demandera à M. Roux un travail sur la question.

M. Ferdinand Meyer indique que M. Roux fait le relevé de tous les compteurs vérifiés.

M. Tricoche indique qu'il pourrait donner un document d'un caractère presque officiel et n'émanant pas de Paris. A Bordeaux, à la Faculté des Sciences, on a installé un bureau de contrôle qui a un véritable caractère officiel. M. Tricoche a eu environ 15 compteurs à faire contrôler ; 14 ont été déclarés absolument parfaits. Il pourra très bien avoir un duplicata d'un caractère officiel et qui serait reproduit au Bulletin.

1° Le premier vœu est relatif à l'action du Comité Supérieur d'Electricité : il tend à ce qu'avec le concours de l'Administration et des Ingénieurs de l'état, il devienne effectivement consultatif et donne des consultations utiles et pratiques, non seulement au Ministre mais également aux Industriels.

L'Assemblée adopte ce vœu et demande à M. le Président de s'adresser pour le transmettre dans ce sens au Ministre eu Commerce, de l'Industrie, des Postes et Télégraphes.

2° Le deuxième vœu tend à ce que les règlements de l'Administration en vigueur ne soient pas accrus comme rigueur et difficultés d'application.

Ce vœu est adopté par l'Assemblée.

M. Fontaine rappelle à ce sujet, pour préciser la portée du vœu, qu'à la dernière séance le Comité Supérieur d'Electricité a été amené à remanier, dans une certaine mesure, l'application de la loi du 25 juin 1895, par des modifications à l'instruction technique parue en septembre 1898 (Voir *Industrie Electrique*, 10 sept. 1900).

3° Le troisième vœu concerne la loi sur les distributions d'énergie. Un rapport supplémentaire de M. Berthelot est intervenu le 4 juillet 1900, à la demande de l'Administration, relativement au projet de loi sur les distributions d'énergie.

L'article 16 nouveau est relatif au droit qu'aurait l'Administration des Postes et Télégraphes de percevoir avec la forme des contributions directes et de trancher très facilement certaines contestations sans aucun caractère contradictoire de la part des concessionnaires. Enfin, ces formalités qui n'étaient pas dans le projet de loi de M. Guillain, ni dans le premier rapport de M. Berthelot, ont semblé inquiétantes parce que quelques-unes d'entre elles portent atteinte à la loi du 25 juin 1895.

M. le Président demande à l'Assemblée de l'autoriser à intervenir auprès de M. Berthelot. Il met aux voix un vœu tendant à ce que la Loi sur les Distributions d'énergie électrique, mise au point dans un sens pratique et libéral soit votée au Parlement et mise en application à bref délai.

Ce vœu est adopté à l'unanimité.

Le Gérant : C. NAUD



Tome XXV. Samedi 8 Décembre 1900. 7e Année. — N° 49

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

GROUPE ÉLECTROGÈNE DE 800 KILOVOLTS-AMPÈRES DE MM. WEYHER ET RICHEMOND ET DE LA SOCIÉTÉ ÉLECTRICITÉ ET HYDRAULIQUE DE JEUMONT

La Société anonyme des établissements Weyher et Richemond, de Pantin, et la succursale française de la Société Électricité et Hydraulique, dont les ateliers sont à Jeumont, ont exposé en commun un groupe d'une puissance de 1 000 chevaux affecté au service de l'Exposition.

Ce groupe, par suite du système nouveau de distribution du moteur à vapeur et des dispositions spéciales de l'alternateur, est un des plus intéressants à étudier de la section française. Il est représenté par la photographie de la figure 1.

Moteur a vapeur. — Le moteur à vapeur est du type compound à deux cylindres horizontaux et jumelés et à condensation.

Les principales dimensions sont les suivantes :

Diamètre du cylindre à haute pression.	65 cm
Diamètre du cylindre à basse pression	100 »
Course commune des pistons.	130 »
Vitesse angulaire en tours par minute.	94 »

La puissance normale de la machine à la pression de 10 kg : cm² est de 1 000 chevaux effectifs ; cette puissance peut être portée à 1 500 chevaux.

La distribution de vapeur est faite sur les deux cylindres par obturateurs système Lefer et placés dans les fonds de cylindre.

La machine n'a pas de condenseur spécial, la condensation est effectuée par un con-

**

denseur automoteur servant à la fois à toutes les machines en service exposées par MM. Weyher et Richemond.

Le moteur est muni d'un régulateur spécial maintenant la vitesse sensiblement constante à toute charge.

Les figures 2 et 3 sont des vues de face et en plan du moteur.

Alternateur. — L'alternateur exposé par la Société Électricité et Hydraulique a été étudié par M. A. Heyland qui lui-même exposera prochainement dans ce journal les considérations qui l'ont conduit à créer ce type d'alternateur caractérisé surtout par sa légèreté. Nous nous contenterons donc d'en donner une description rapide.

L'alternateur triphasé est du type volant.



Fig. 1. — Groupe électrogène de 800 kilovolts-ampères de la Société Électricité et Hydraulique de Jeumont et de MM. Weyher et Richemond.

Sa puissance apparente est de 800 kilovolts-ampères, et sa puissance vraie de 680 kilowatts, ce qui correspond à un facteur de puissance de 0,85 environ.

La tension aux bornes est de 2 200 volts; l'induit étant groupé en étoile, la tension simple est de 1 270 volts, et l'intensité du courant de débit par phase de 210 ampères.

La fréquence est de 50 périodes par seconde et le nombre de pôles de 64.

Inducteur. — L'inducteur (fig. 4,5 et 6) est coulé en deux parties et est assemblé suivant deux bras par des boulons : un pour chaque bras, deux pour le moyeu et quatre pour chaque joint de la jante.

En outre, 8 frettes de forme allongée sont logées à chaud dans des gorges pratiquées à cet effet sur les faces de la jante et sur celles du moyeu.

Le diamètre extérieur de la jante est de 5,65 m et sa largeur de 32 cm seulement.

L'entraînement se fait par une seule clavette.

Les pôles inducteurs en acier ont une forme ovale et sont placés directement sur la surface de la jante, sans encastrement; ils sont fixés chacun par deux vis la traversant complètement.

La section des noyaux polaires est de 200 cm² et leur hauteur de 14 cm.

Les épanouissements polaires venus de fonte avec les noyaux sont rectangulaires et légèrement arrondis pour obtenir une courbe de tension aussi sinusoïdale que possible.

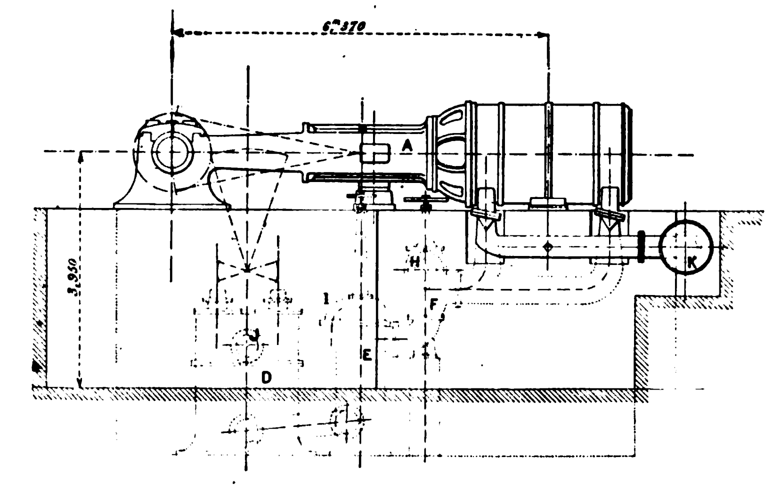
L'enroulement des pôles inducteurs présente une particularité qui en rend le bobinage

et, éventuellement le débobinage, excessivement simple. Chaque bobine inductrice est en effet composée d'un bande de cuivre de 104 mm de hauteur sur 0,8 mm d'épaisseur enroulée sur plat sur un manchon isolant. Les 50 spires ainsi formées sont séparées par de la toile isolante.

L'extrémité extérieure de chaque bobine est maintenue en place par des plaques de cuivre boulonnées. Par mesure de précaution, on a soudé cette extrémité qui acquiert par ce fait une résistance mécanique très grande.

A surface égale, les bobines ainsi construites ont un coefficient de refroidissement plus élevé que les bobines formées de fil ou de câble isolé, car les isolements peuvent être beaucoup plus minces à cause de la faible différence de potentiel entre chaque spire consécutive.

Cette propriété existe également dans les bobines formées d'une bande de cuivre enroulée sur champ; mais les bobines à bande enroulée sur plat sont d'une construction beaucoup plus facile.



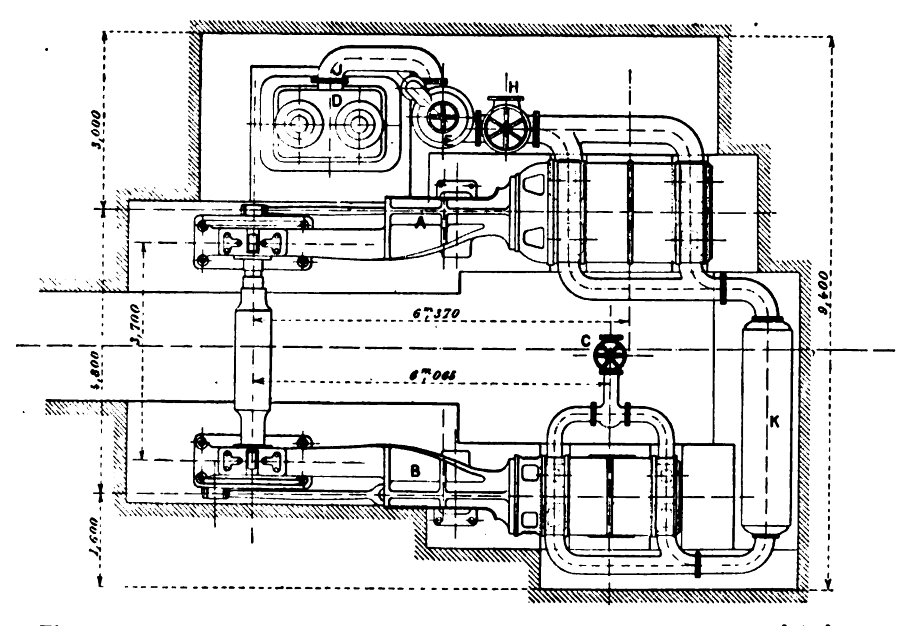


Fig. 2 et 3. — Vues de face et en plan d'un moteur à vapeur compound à deux cylindres conjugués de MM. Weyher et Richemond.

Les isolants perpendiculaires à l'axe de la bobine se composent de rondelles en fibre vulcanisée recouvertes de toile isolante.

Des plaques en bronze, retenues par les épanouissements polaires, reçoivent la poussée des bobines sollicitées par la force centrifuge.

Toutes les bobines inductrices sont montées en série et les extrémités du circuit ainsi formé aboutissent à deux bagues de contact largement proportionnées.

La résistance du circuit d'excitation est de 0,70 ohm à chaud ; la perte par effet Joule dans l'inducteur est de 2 p. 100 environ de la pleine charge.

Le poids de cuivre de l'inducteur est de 2 100 kg.

Le poids de l'inducteur complet n'est que de 20 200 kg, l'emploi de moteurs à vapeur jumelés permet toutefois d'obtenir avec ce volant un coefficient d'irrégularité de $\frac{1}{200}$.

Le diamètre extérieur de l'inducteur est de 5,980 m, et l'entrefer de 10 mm.

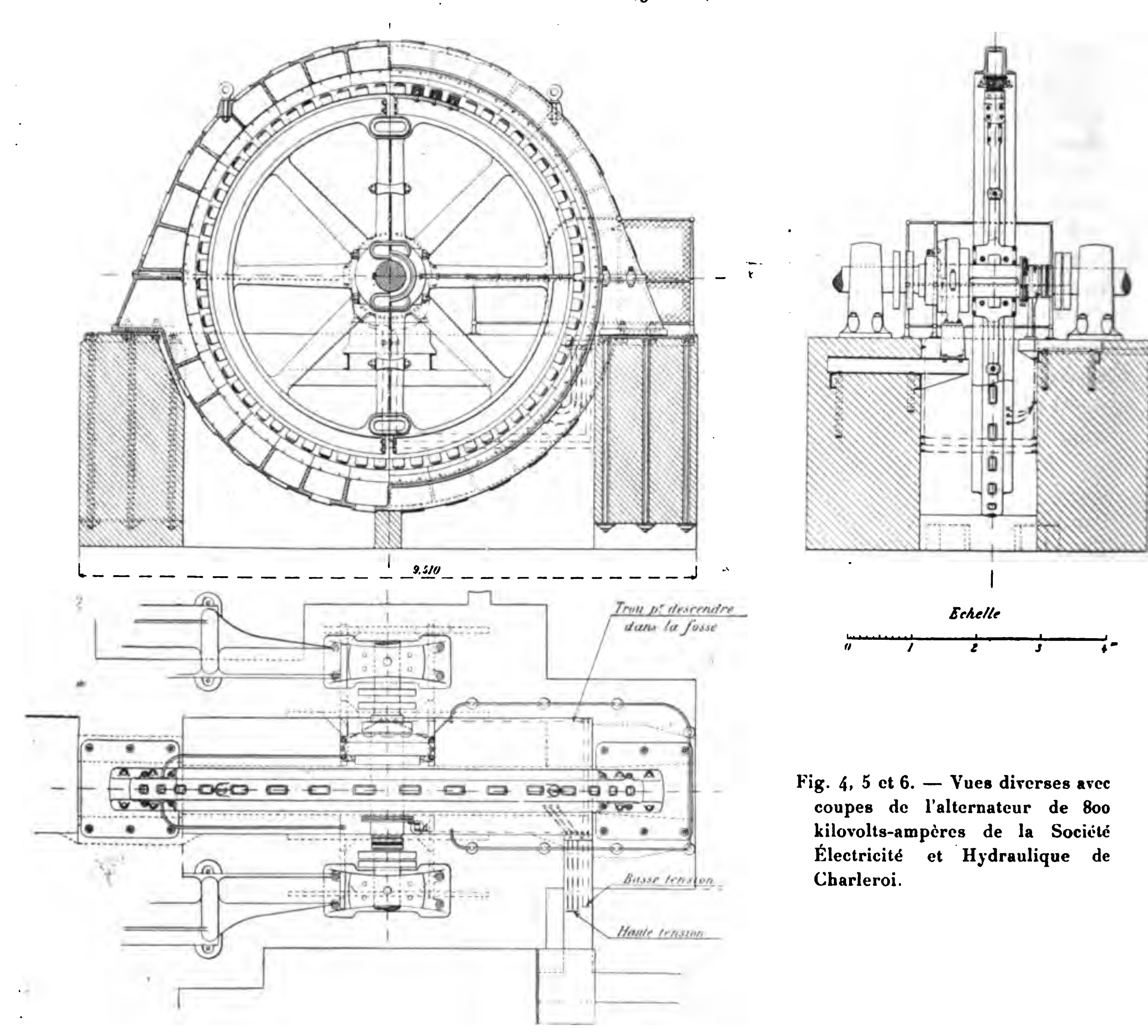


Fig. 4, 5 et 6. — Vues diverses avec coupes de l'alternateur de 800 kilovolts-ampères de la Société Électricité et Hydraulique de Charleroi.

Induit. — La carcasse induite a une forme élancée qui contribue pour beaucoup à réduire le poids de l'alternateur. La section de la carcasse est celle d'un U renversé muni de larges rebords latéraux normaux au plan perpendiculaire à l'axe.

Une des branches de l'U est prolongée pour servir de support à la couronne induite, laquelle est serrée entre l'anneau ainsi formé et un second anneau en plusieurs parties en acier forgé portant un rebord logé dans une rainure circulaire pratiquée dans la seconde branche de l'U.

Le diamètre extérieur de la carcasse est de 7,265 m et sa largeur totale de 64 cm.

La couronne induite se compose d'un grand anneau en deux parties formées par l'assemblage de 460 couches environ de tôles de fer extra doux de 0,5 mm ; ces tôles sont isolées au vernis et montées à joints alternants. Elles sont serrées d'endroit en endroit par des boulons (un par pôle induit).

Afin de faciliter la ventilation du fer induit, celui-ci a été divisé en six parties ménageant entre elles des canaux de ventilation. De plus, la carcasse induite porte des ouvertures laissant libre accès à l'air extérieur.

Les dimensions de l'anneau induit ainsi formé sont les suivantes : diamètre d'alésage, 6,000 m ; diamètre extérieur, 6,400 m, et largeur de l'ensemble des tôles y compris les espaces d'air pour la ventilation, 25 cm.

Le poids total du fer est d'environ 3 550 kg.

L'anneau induit est pourvu de 384 trous, 6 par pôle, et dont la section a la forme d'un rectangle compris entre deux demi-cercles.

Les dimensions de ces trous sont de 34 mm sur 22 et les isthmes qui les séparent de l'entrefer ont une largeur de 2 mm environ.

L'enroulement comporte une bobine par paire de pôles et par phase, soit 32 bobines par phase. Chacune d'elles occupe 4 trous et comporte deux bobines concentriques formées de trois spires constituées par deux groupes de trois câbles de 25 mm^2 (19 fils de 1,3 mm de diamètre), isolée du fer par des caniveaux en micanite ; chaque bobine complète de l'induit a donc 6 spires.

Toutes les bobines d'une même phase sont en série et les trois phases sont groupées en étoile. La résistance de chacune des phases est de 0,13 ohm chaud.

Le poids de cuivre de l'induit est de 500 kg environ.

Le poids total de l'induit est de 20 000 tonnes.

L'induit repose sur les plaques de fondation par des pattes venues de fonte avec la partie inférieure de la carcasse.

En outre, un dé en maçonnerie est placé à la partie inférieure de l'induit pour éviter les déformations.

Le réglage de l'entrefer se fait à l'aide de coins glissés sous les points d'appui.

Excitatrice. — L'excitatrice est une petite dynamo de 16 kilowatts dont l'induit est calé directement sur l'arbre de la machine à vapeur à côté du volant.

La tension du courant de débit est de 100 à 110 volts et le débit lui-même de 150 ampères.

C'est une machine à 12 pôles à induit tambour avec enroulement multipolaire.

Résultats d'essais. — L'article de M. Heyland que nous publierons prochainement reproduira les caractéristiques à vide et en court-circuit de l'alternateur de la Société Électricité et Hydraulique construit dans les ateliers de Jeumont.

Le courant d'excitation nécessaire pour la marche à vide est de 127,5 ampères.

L'intensité du courant d'excitation pour obtenir l'intensité normale du débit de 200 ampères par phase en court-circuit est de 36 ampères et correspond à une tension d'environ le tiers de la tension normale.

En charge, avec un facteur de puissance égal à l'unité et une puissance aux bornes de 760 kilowatts, le courant d'excitation nécessaire est de 141 ampères.

La chute de tension entre la marche à vide et la marche en charge est de 5 p. 100 environ pour une charge non inductive.

Pour une charge inductive de facteur de puissance égal à 0,85, l'intensité du courant d'excitation atteint 168 ampères et la chute de tension n'est que 12 p. 100.

Le poids de cuivre total de 2 600 kg correspond à une utilisation de 2,7 kg environ par kilovolt-ampère.

Tableau de distribution. — Le tableau de distribution est des plus simples. Il se compose d'un panneau en marbre formant l'une des faces d'une cabine constituée par une carcasse en cornière et par des grillages en fil de laiton.

Le tableau comprend simplement un interrupteur tripolaire, un ampère-mètre et un voltmètre à basse tension branché sur un transformateur disposé aux bornes de l'alternateur. Il comporte en outre les appareils nécessaires à l'excitatrice.

GROUPE ÉLECTROGÈNE DE 800 KILOVOLTS-AMPÈRES DE MM. BOLLINCKX ET Cie ET DE LA SOCIÉTÉ ÉLECTRICITÉ ET HYDRAULIQUE DE CHARLEROI.

La Société anonyme Électricité et Hydraulique expose dans la section belge un second alternateur différant peu du premier et sortant de ses ateliers de Charleroi.

Cet alternateur est calé sur l'arbre d'un moteur construit par la Société anonyme des Ateliers de construction H. Bollinckx et Cie de Bruxelles.

La photographie de la figure 1 représente une vue d'ensemble de ce groupe et les figures 2, 3 et 4 des vues diverses du moteur et du groupe complet.

Moteur à vapeur. — Le moteur à vapeur est du type compound à deux cylindres horizontaux conjugués.

Les dimensions principales de cette machine sont les suivantes :

Diamètre du petit cylindre	760 mm.
Diamètre du grand cylindre	1 150 »
Course commune des pistons	1 500 »
Vitesse angulaire en tours par minute	80 »
Vitesse moyenne des pistons	4 m.
Diamètre de la pompe à air	1 000 mm.
Course	275 »
Diamètre des tiges de pistons	135 »
Diamètre de l'arbre de couche au centre	500 »
Diamètre de l'arbre de couche dans les fusées	380 »
Distance d'axe en axe des cylindres	4 800 »
Volume du receiver	2 000 litres.

La machine est du système Bollinckx compound à 4 valves. Ce qui la caractérise, ce sont les faibles espaces nuisibles et l'efficacité de l'enveloppe, qui contribuent à la faire très économique.

Une machine identique à celle exposée, essayée par l'Association belge pour la Surveillance des Chaudières à vapeur, n'a consommé que 5 360 kg de vapeur saturée à 7 1/2 kg : cm² par cheval indiqué.

La consommation de houille par cheval-heure est certainement plus réduite que dans les machines à triple ou quadruple expansion, employant de la vapeur à très haute pression, ou que dans les machines à vapeur surchauffée à de hautes températures. Cette machine nécessite surtout une installation beaucoup moins compliquée que les systèmes à surchauffe ou à triple expansion, et par conséquent une dépense d'installation moindre, tout en arrivant à un résultat aussi favorable.

Etant donnée la grande vitesse des pistons (4 m par seconde), la machine a été spéciale-



ment étudiée en vue d'obtenir un graissage très efficace. Une petite pompe centrifuge refoule en abondance l'huile dans les différents organes, d'où elle s'écoule par une disposition de tuyauteries dans un filtre. Après filtrage, elle parcourt de nouveau le même cycle.

Le coulisseau est percé de trous par où l'huile sous pression se répand sur toute la surface.

C'est pour la même raison que la maison Bollinckx, qui avait la première lancé le bouton de manivelle en deux épaisseurs pour y tenir l'huile comme dans un excentrique, a aban-

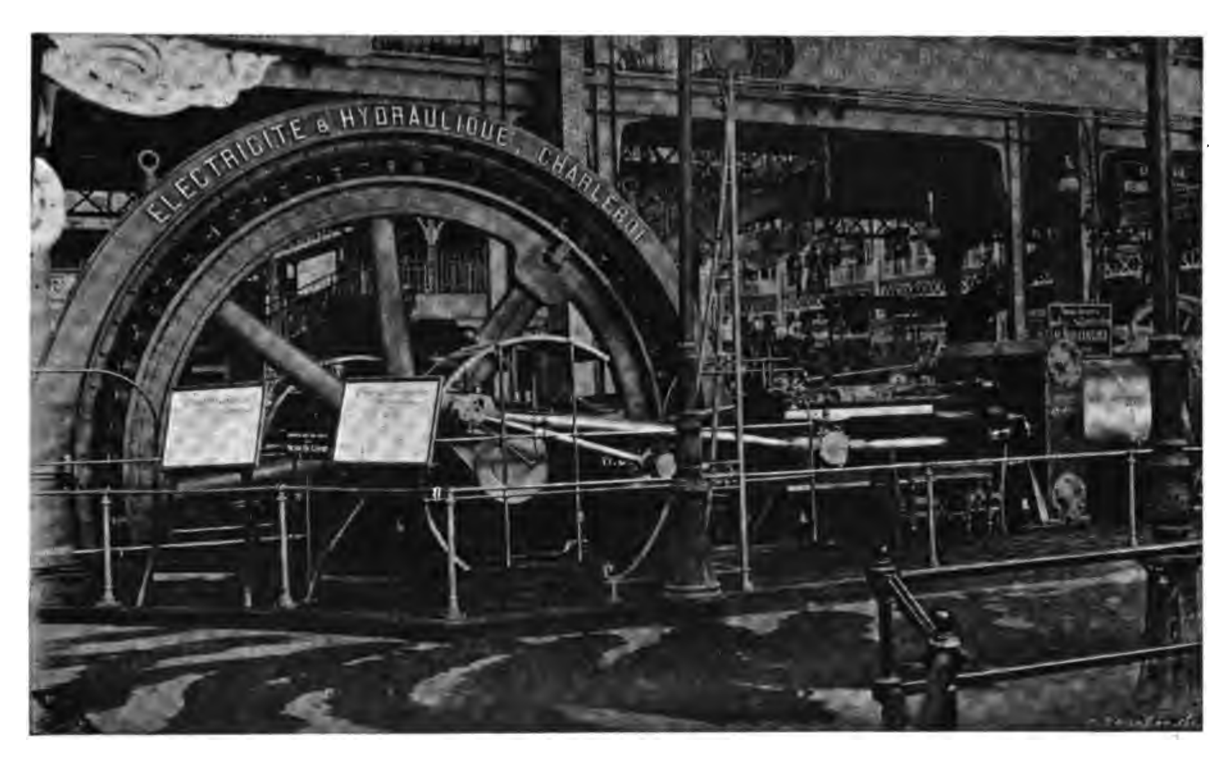


Fig. 1. — Groupe électrogène de 800 kilovolts-ampères de la Société Electricité et Hydraulique de Charleroi de MM. Bollinckx et Cie de Bruxelles.

donné cette disposition parce que le passage abondant d'huile est préférable à sa stagnation.

Le bâti est à circulation d'eau pour prévenir tout échauffement.

Le graissage des cylindres est assuré par des graisseurs Mollerup commandés par un mouvement de la machine.

Les deux cylindres sont en deux parties ou boisseaux, assemblés sans aucun joint, ce qui permet la libre dilatation de chacune des parties.

La construction en deux parties permet d'avoir les quatre boisseaux de valves de même densité.

Les cylindres portent des ailettes taillées dans leur périphérie, ce qui augmente considérablement l'efficacité de l'enveloppe.

Les valves d'admission sont semblables à celles des machines Corliss, mais d'une construction essentiellement différente en ce sens que la valve proprement dite est une simple portion du cylindre avec une arête radiale de très *faible hauteur*, sur laquelle s'emmanche

une tige en V renversée, tandis que dans les valves Corliss, la valve même est en V assez élevé dans lequel s'emmanche une tige. Il s'ensuit, qu'avec le système Bollinckx, en cas d'usure de la tige, la valve reste étanche, ce qui n'est pas le cas pour les autres systèmes.

Des essais ont été faits sur des machines marchant jour et nuit pendant dix et douze ans, et ont prouvé que les valves restent étanches, sans réfection après ce laps énorme de temps.

On remarquera que la disposition des valves d'admission et de décharge a permis de réduire les espaces nuisibles à un minimum qui atteint 2 p. 100 dans la machine qui nous occupe.

En ce qui concerne la précision de la construction, nous dirons que dans les ateliers Bollinckx, toutes les pièces sont exécutées sur calibres, ce qui oblige à une précision de un millième de millimètre.

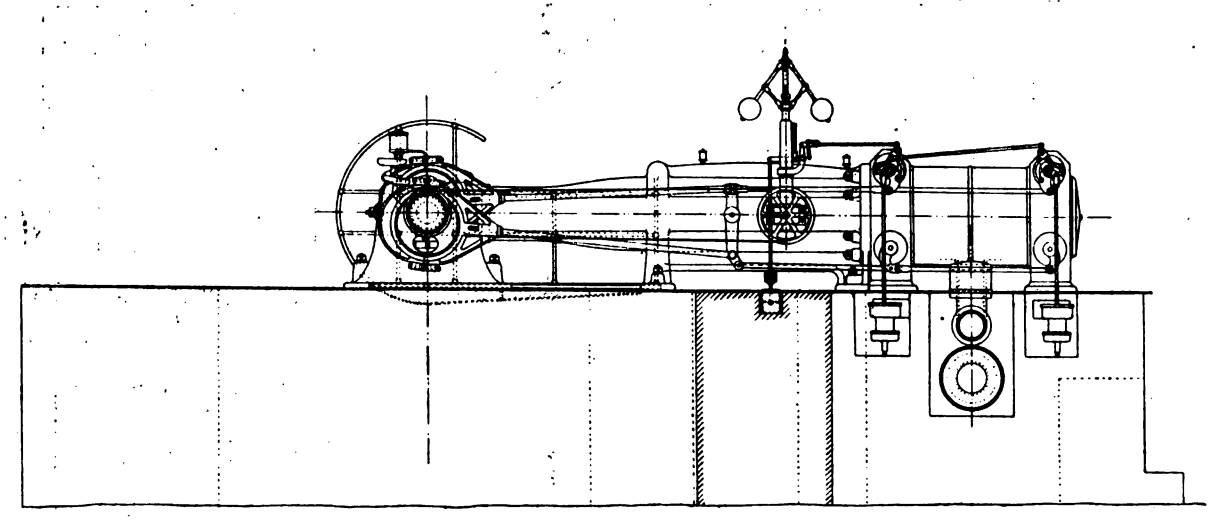


Fig 2. — Vue de face du moteur de MM. Bollinckx et Cie de Bruxelles.

Les manivelles sont fixées à la presse sur les arbres, et tous les leviers sur leurs axes, sans aucune espèce de cale. Les volants eux-mêmes sont emmanchés à force sur les arbres et n'ont pas de cale.

Tous les boutons d'articulation sont trempés à deux ou trois millimètres de profondeur et sont finis à la meule émeri après la trempe.

Ceux de la manivelle et de la tête du piston travaillent dans des coussinets de bronze; les autres dans de simples douilles en fonte.

Il en résulte que ces boutons ne s'usent jamais, de sorte qu'il n'y a à remplacer, après de nombreuses années que ces coussinets ou ces petites douilles, ce qui se fait très vite et avec fort peu de frais.

Les coussinets de l'arbre moteur sont en métal blanc, qui peut encore servir en partie quand les coussinets sont usés. Les coussinets peuvent s'enlever sans ôter l'arbre, les morceaux pouvant tourner autour de celui-ci.

En dehors de ces remplacements, les dépenses d'entretien se bornent à l'alésage des boîtes des valves et du cylindre qui doivent se faire au plus tous les vingt ou vingt-cinq ans, suivant les conditions de marche ou d'entretien de la machine.

Alternateur. — L'alternateur de la Société anonyme Electricité et Hydraulique commandé par le moteur Bollinckx diffère peu de celui commandé par le moteur des ateliers

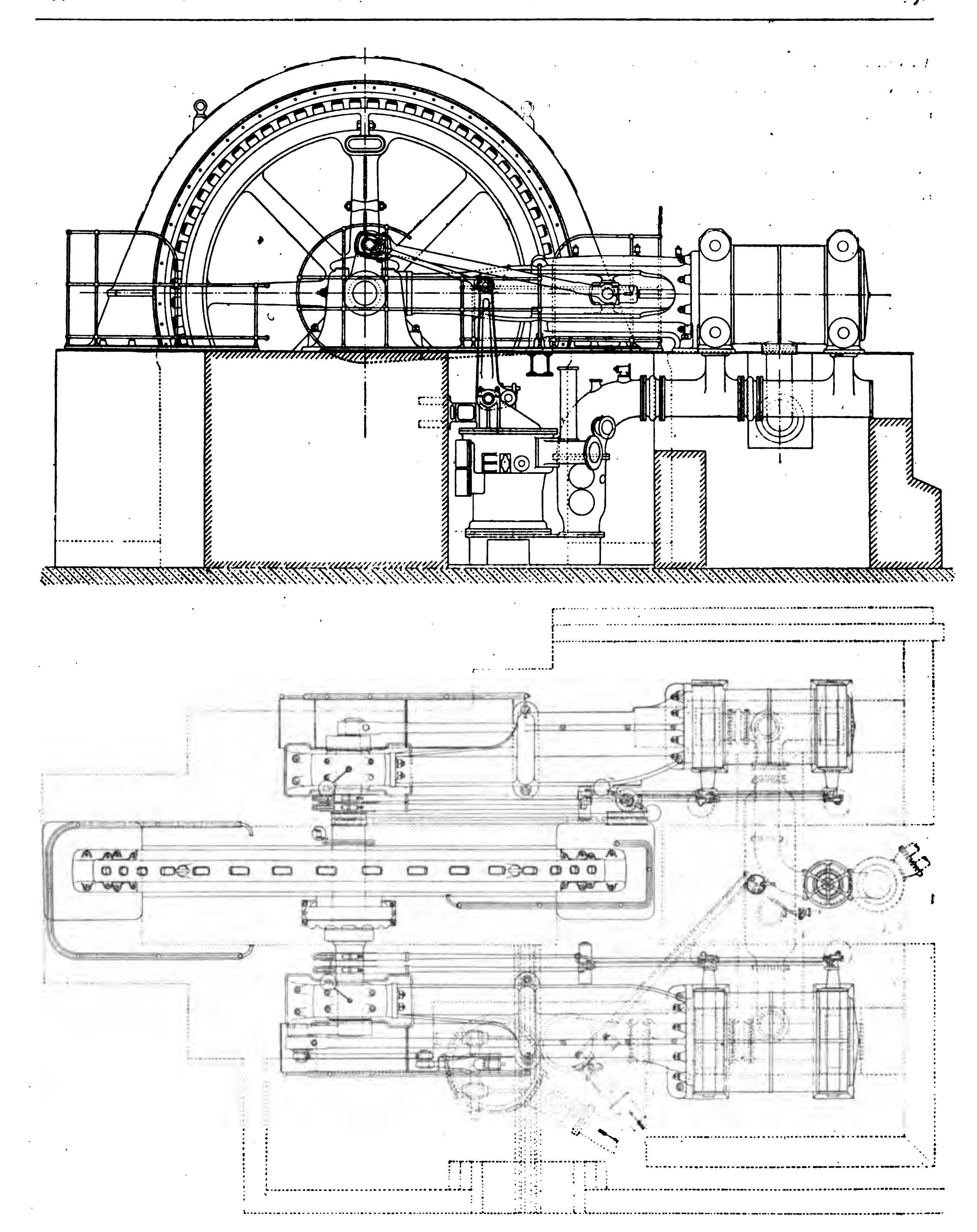


Fig. 3 et 4. — Vue de face et en plan du groupe électrogène de MM. Bollinckx et Cie de Bruxelles et de la Société Électricité et Hydraulique de Charleroi.

***

Veyher et Richemond. Il a en effet la même puissance et les seules différences entre les deux alternateurs tiennent uniquement à l'adaptation de l'alternateur français pour fonctionner à 80 tours au lieu de 94 tout en donnant la même tension.

L'induit est identique à celui de l'alternateur de Jeumont, la seule différence consiste en ce que les bobines complètes au lieu d'être formées de 6 spires de deux câbles en parallèle comportent maintenant 12 spires d'un seul câble de même section; on a en somme mis en série les deux bobines élémentaires disposées primitivement en quantité.

De plus ces trois phases sont maintenant groupées en triangle.

La courbe de saturation étant maintenue la même, la tension aux bornes avec le même entrefer serait en réduisant la vitesse à 80 tours de

$$\frac{1270 \times 2 \times 80}{94}$$

ou 2 160 volts.

Pour obtenir la même tension malgré une chute de tension un peu plus forte dans l'induit où l'intensité par fil est maintenant de 115 ampères au lieu de 100, on a réduit l'entrefer à 8 mm seulement au lieu de 10.

Le diamètre d'alésage de l'induit est resté le même, c'est le diamètre extérieur de l'inducteur qui a été porté à 5,984 m au lieu de 5,980 m.

La fréquence n'est plus maintenant que de 42,5 périodes par seconde.

La résistance par phase est maintenant de 0,52 ohm chaud.

L'intensité du courant d'excitation pour la marche à vide est de 137 ampères et elle correspond au débit de 200 ampères en court-circuit, de 43 ampères. L'intensité du courant d'excitation en charge (200 ampères) sur résistance non-inductive est de 155,5 et celle sur un circuit de facteur de puissance égal à 0,85 de 193 ampères.

ACCUMULATEURS MAJERT

Plaque positive. — Ce qui caractérise cet accumulateur (1), c'est surtout la construction de la plaque positive. Le Dr W. Majert, de Grünau-Berlin a eu en vue, en l'imaginant, de faire une plaque solide à grande capacité et pouvant charger et décharger en des temps très courts.

Cette plaque est du type Planté et est fabriquée en plomb pur laminé. Comme forme, elle tient de la plaque Tudor et est comme elle constituée d'une âme munie de chaque côté de nervures perpendiculaires. Mais dans le but d'augmenter la surface active, le nombre et la finesse des nervures ont été considérablement augmentés. C'est ainsi que pour le type à décharge de une heure à trois heures, les nervures ont 0,6 mm de largeur et 5,5 mm de profondeur, et entre chaque nervure il n'y a que 0,4 mm d'intervalle. La plaque présente alors l'aspect lamellé de la partie inférieure d'une tête de champignon ainsi que le représente la figure 1.

Pour les décharges de un quart d'heure à une heure, les nervures sont encore plus rapprochées et plus fines, ainsi qu'il résulte du tableau comparatif suivant (2) :

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XVIII, p. 259, 18 février 1899.

(2) *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XX, p. 783, 9 novembre 1899.



	Décharge en 1/4 à 1 h.	Décharge en 1 à 3 h.
Nombre de nervures par centimètre	15	10
Profondeur des nervures, en millimètres	4,5	5,5
Epaisseur de l'âme de la plaque, en millimètres	1	1
Epaisseur totale de la plaque, en millimètres	10	12
Développement de surface	14,25	12
Poids par dm² de plaque, en grammes	660	780

On a appelé ici développement de surface le rapport entre la surface totale active et la surface apparente de la plaque obtenue par le produit de sa hauteur par sa largeur.



Fig. 1. — Plaque positive Majert.

Pour l'obtention de cette plaque, un procédé de fabrication spécial était nécessaire, car le procédé par coulée ne permet pas de dépasser 8 ou 9 comme développement de surface.

Le Dr Majert façonne sa plaque mécaniquement; il prend pour cela une plaque en plomb doux laminé qu'un outil spécial en acier vient attaquer obliquement; il se détache ainsi par un déplacement relatif de l'outil et de la plaque un copeau mince qui adhère à l'âme par sa base. Par suite de sa forme, l'outil, continuant sa course dans la rainure ainsi créée, relève perpendiculairement le copeau détaché, ainsi qu'on le voit sur la figure 2.

L'outil agit ainsi à la façon d'une charrue; en le faisant avancer d'une quantité correspondante à l'intervalle de deux lamelles, on obtient des sillons très réguliers et d'une grande finesse. Ce qui distingue les plaques ainsi fabriquées des plaques coulées, c'est d'abord le parallélisme des deux côtés de la lamelle qui ne s'obtient pas dans la méthode par coulée où on est obligé de donner à la nervure une forme conique pour faciliter le démoulage. C'est, de plus, l'état du plomb qui est plus homogène dans une plaque laminée que dans une plaque coulée [1].



Fig. 2. — Outil pour la fabrication des plaques.

La machine Majert-Berg employée au travail des positives est une sorte d'étau limeur (fig. 3). L'outil est mobile et son axe est perpendiculaire au plan de la plaque. Tout à côté de lui se meut un petit galet d'acier qui vient exercer sur la plaque une pression réglable afin de rendre rigoureusement plane la partie à travailler; on évite ainsi les déchirures du métal.

Le plateau qui supporte la plaque peut être soumis à trois mouvements différents : il

(1) Il en résulte une attaque plus régulière, et par suite une plus longue durée. C'est ce qu'aurait prouvé l'expérience suivante : 3 plaques de plomb doux furent formées dans les mêmes conditions; la plaque en plomb laminé (fig. 8) montra une couche cristalline régulière de peroxyde; la plaque en plomb coulé (fig. 9) et celle en plomb coulé puis comprimé à la pression de 2 500 kg : cm² (fig. 10) présentèrent au contraire une attaque inégale avec des parties assez fortement rongées.

peut être déplacé verticalement, de façon à faire varier à volonté la profondeur du sillon ; il peut tourner dans un plan horizontal, ce qui a pour but de faire varier l'inclinaison des sillons par rapport aux bords de la plaque. Un troisième mouvement alternatif et automatique, perpendiculaire, au déplacement de l'outil fait avancer le plateau après chaque course de l'outil de la longueur correspondante à l'intervalle de deux sillons.

Lorsqu'un côté de la plaque est terminé, on retourne celle-ci pour travailler le deuxième

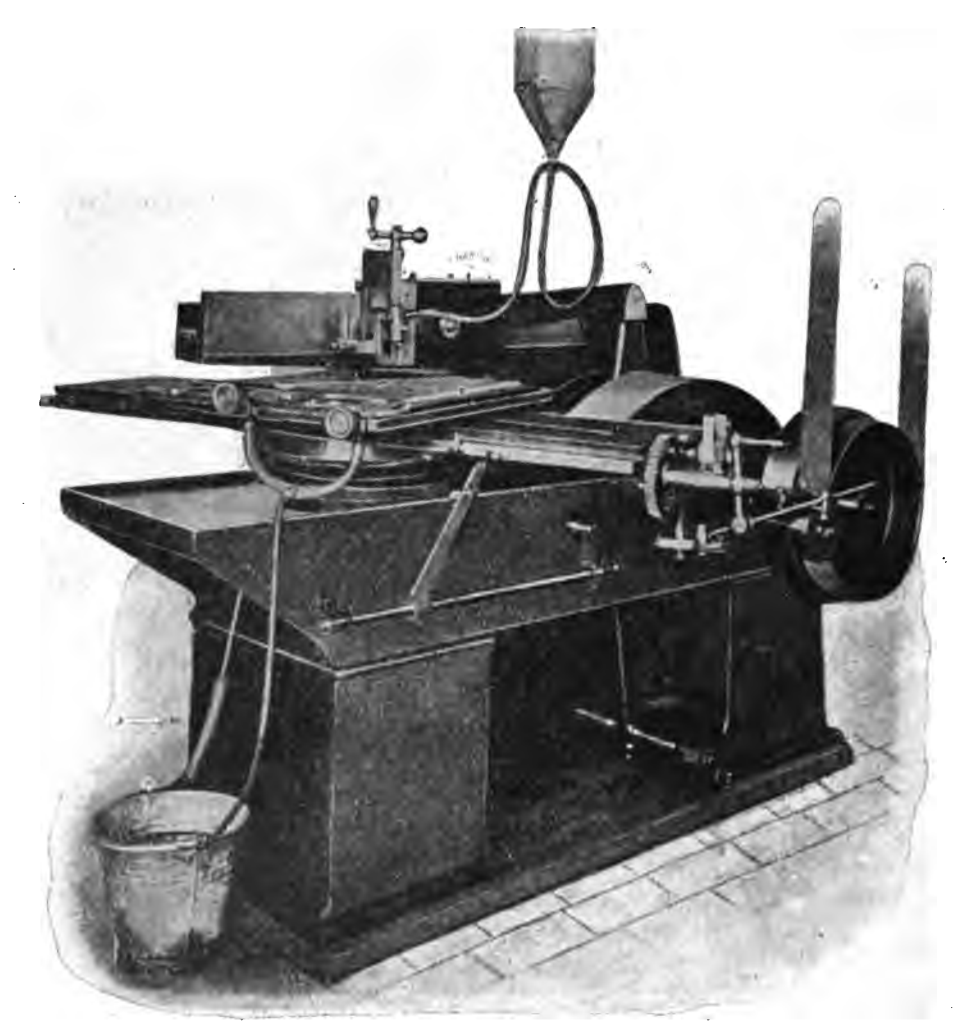


Fig. 3. — Machine Majert-Berg pour la fabrication des plaques.

côté, et l'outil est réglé de telle façon que dans le taillage, les sillons laissent intacte la partie centrale de la plaque; il en résulte une âme de 1 à 2 mm qui assure à la plaque une grande solidité.

Au début, les sillons étaient inclinés et faisaient avec le bord horizontal de la plaque un angle de 70 degrés ; de plus, les sillons d'un côté croisaient ceux de l'autre côté de façon à augmenter la rigidité de la plaque. Pour les nouveaux types de plaques, ce croisement a été abandonné et des deux côtés les sillons sont tracés horizontalement.

Les machines sont fabriquées en différentes grandeurs. Pour des plaques ayant jusqu'à 9 $dm^2 = 3 \times 3$ dm^2, l'outil peut faire 90 courses, aller et retour, par minute.

Il suffit ainsi de 253 secondes pour tailler les 380 lamelles sur un côté d'une plaque type A_8 de 5,3 dm² de surface de base; soit en chiffres ronds 500 secondes pour les deux côtés; en y comprenant le temps de mise en place, on arrive à un temps total de 10 minutes par plaque. Par journée de travail de 10 heures, une machine pourrait ainsi fabriquer 60 plaques de ce type. Comme un ouvrier peut conduire deux machines, la production devient 120 plaques par ouvrier et par jour, qui est comparable à celle obtenue par coulée.

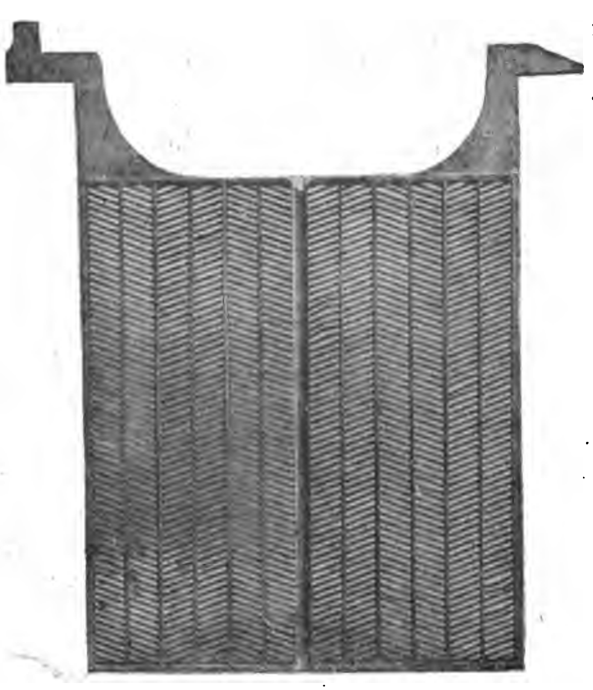


Fig. 4. — Plaque négative Majert.

Plaque négative. — La plaque négative employée ici est du type Faure; le support est constitué par une grille qui présente deux formes différentes, l'une pour les batteries à poste fixe, l'autre pour les batteries transportables.

La plaque du premier type, représentée en figure 4, porte un cadre et un certain nombre de montants verticaux qui sont reliés entre eux par des nervures obliques plates dont l'obliquité se fait de sens inverse d'un intervalle à l'autre. Ces nervures sont de plus inclinées d'un côté de la plaque à l'autre, à la façon des lames de jalousies. On a voulu par cette disposition avoir une plaque très rigide et consolider les pastilles de plomb spongieux.

L'autre plaque négative, représentée par la figure 5, est formée de nervures horizontales et verticales se croisant rectangulairement; ces nervures ont au milieu de la plaque une épaisseur plus forte qu'à la surface, ce qui donne aux pastilles empâtées une forme de coin. Afin de mieux retenir ces pastilles, la plaque ainsi fabriquée est alors laminée de façon à relever des deux côtés les nervures horizontales. Les figures 6 et 7, qui donnent les coupes de la plaque avant et après laminage, montrent bien l'effet de cette opération.



Fig. 5. — Autre type de plaque négative.

Les plaques ainsi obtenues sont empâtées à la façon ordinaire; le mélange est ici constitué par de la litharge chimiquement pure, de l'acide sulfurique et un liant spécial.

Formation. — La formation des plaques se fait séparément, pour les deux électrodes. A cet effet, les positives d'une part et les négatives d'autre part, sont montées en éléments en regard de contre-électrodes, puis chargées, ce qui a pour avantage de purifier les plaques et d'empêcher, par exemple, les traces de chlore que renferme toujours la matière négative de se rendre sur les plaques positives. Le liquide de formation de ces dernières est de l'acide sulfurique étendu sans addition d'aucun corps étranger; la couche de peroxyde obtenu est uniforme depuis l'arête de la lamelle jusqu'à sa base.

Fabrique allemande. — Les accumulateurs Majert sont fabriqués en Allemagne, à Oberschœneweide, près de Berlin, par la « Accumulatorenwerk Oberspree Aktiengesellschaft ».

Nous trouvons dans le « Centralblatt für Accumulatoren und Elementenkunde », t. I, p. 143, quelques renseignements sur cette usine qui occupe une superficie de 21 200 m², se répartissant ainsi : administration 320 m², atelier de fusion 600 m², ateliers principaux 1 120 m², atelier de formation 2 700 m², magasin 600 m², hangars divers 800 m².

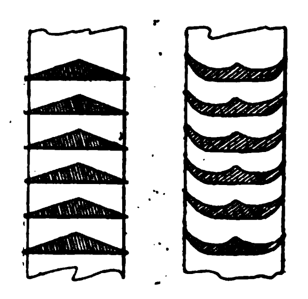


Fig. 6 et 7. — Coupes d'une plaque négative avant et après laminage.

Le plomb qui arrive en saumons est coulé en plaques d'environ 2 m² de surface et 10 cm d'épaisseur, qui sont ensuite laminées à l'épaisseur utile des plaques. Dans ce but, elles passent sous des cylindres de 2,2 m de longueur et 65 cm de diamètre actionnés par un électromoteur. A la sortie du laminoir, ces plaques, qui ont 7 à 8 mm d'épaisseur, passent sous la scie circulaire électrique qui les coupe en plaques de dimensions déterminées. Celles-ci parviennent alors dans les ateliers principaux où fonctionnent 18 machines du type décrit plus hant. Dans le tailllage des plaques on laisse un rebord de chaque côté, ce rebord se trouvant au-dessus d'un côté et au-dessous de l'autre. Il ne reste plus ensuite qu'à souder les queues de prise de courant et à former les plaques.

Les plaques négatives sont coulées dans l'atelier de fusion qui peut fournir journellement 6 000 plaques. La pâte dont nous avons donné plus haut la composition, est faite dans un malaxeur; les plaques sont empâtées à la main, après quoi elles vont à la formation.







Fig. 8, 9 et 10.

Dans l'atelier de formation, on a installé, de place en place, à peu près à hauteur des cuves, de petits puits par lesquels on extrait les gaz de formation et l'air chargé des fines gouttelettes d'acide qui se jettent dans un canal souterrain.

L'énergie électrique nécessaire est fournie par l' « Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft », qui livre du courant triphasé à 6 000 volts; celui-ci est tranformé à l'usine en courant continu à 70-80 volts. La puissance utilisée est de 350 kilowatts pour la formation, 25 kilowatts pour l'éclairage et 90 kilowatts pour les moteurs qui sont à courants triphasés.

L'usine allemande fabrique principalement les accumulateurs pour tramways à charge rapide. C'est ainsi qu'à la fin de l'année 1899, elle avait en exploitation 58 000 éléments sur les 290 voitures des grands tramways de Berlin. Chaque élément est composé de 3 plaques de 255 mm hauteur, 234 mm largeur et 12 mm épaisseur; les plaques possèdent 11 lamelles par centimètre, avec une profondeur de 5,5 mm. Le montage est fait dans des bacs en

ébonite à rainures intérieures dans lesquelles se logent les plaques, et à nervures extérieures permettant l'écartement des bacs entre eux.

On trouvera dans le tableau suivant quelques données relatives aux types d'éléments à charge rapide.

TYPE	DÉCHARGE			INTENSITÉ MAXIMA A LA CHARGE en ampères		POIDS D'UN ÉLÉMENT en kg, acide compris
	Capacité en amp.-h.	Temps en heures	Intensité en ampères	A pot. constant E = 2,55 volts	A intensité constante	
1 A_4	15	1/4	60	84	24	9,7
	17	1/2	34			
	18,7	3/4	25			
	21	1	21			
1 A_8	21,8	1/4	86	120	35	15
	24,5	1/2	49			
	27	3/4	36			
	30	1	30			
2 A_4	30	1/4	120	168	48	18,46
	34	1/2	64			
	37,5	3/4	50			
	42	1	42			
2 A_8	43,6	1/4	174	240	70	28
	49	1/2	98			
	54	3/4	72			
	60	1	60			
3 A_4	45	1/4	180	252	72	26,7
	51	1/2	102			
	56,2	3/4	75			
	63	1	63			
4 A_4	60	1/4	240	336	96	34,3
	68	1/2	136			
	75	3/4	100			
	84	1	84			
3 A_8	65	1/4	258	360	105	41
	73,5	1/2	147			
	81	3/4	108			
	90	1	90			
4 A_8	87	1/4	344	480	140	54,1
	98	1/2	196			
	108	3/4	144			
	120	1	120			

Au point de vue de la durée de ces plaques, mentionnons ici que, pendant la première année d'exploitation sur les tramways de Berlin, il n'y aurait eu à remplacer que 18 positives sur 2 000 en service.

Fabrique française. — La Compagnie française des Accumulateurs électriques « Union » fabrique actuellement dans son usine de Neuilly-sur-Marne les accumulateurs Majert.

A l'exposition de cette compagnie on pouvait voir les plaques positives et négatives que nous avons décrites ci-dessus, ainsi que la machine spéciale à tailler les positives. Celle-ci est très perfectionnée : c'est l'outil qui possède le déplacement vertical qu'on règle à volonté pour donner au sillon la profondeur voulue; de plus, le plateau qui supporte

la plaque n'est plus mobile autour d'un axe dans un plan horizontal, les lamelles étant toutes taillées parallèlement aux bords de la plaque.

La précision de cette machine serait telle qu'il serait possible de tracer 30 et 35 sillons par centimètre et par suite d'augmenter jusqu'à 35 fois la surface apparente.

Voici quelles sont, d'après la fabrique française, les principales valeurs caractéristiques de quelques types d'éléments pour batteries stationnaires.

TYPE DE L'ÉLÉMENT		4Rg9	4R6	8Rg15	8R15
Nature du bac		Verre	Verre	Bois plombé	Bois plombé
Encombrement approximatif de l'élément, en mm	hauteur	380	380	625	625
	largeur	275	275	480	480
	longueur	281	281	571	571
Nombre de plaques		4 + et 5 —	4 + et 5 —	8 + et 9 —	8 + et 9 —
Poids approximatif de l'élément emballé, sans acide, en kg		64	64	319	319
Volume d'eau acidulée à 21° B, en litres		20,5	20,5	94	94
Capacités aux différents régimes en ampères-heures	10 heures	240		1241	
	7,5 »	220		1137	
	5 »	199		1032	
	3 »	179	170	928	882
	2 »		152		789
	1 »		122		632
Intensité maxima de charge, en ampères		60	76	309	394

Les éléments R*g* sont employés pour les décharges lentes et les éléments R pour les décharges plus rapides.

Pour les éléments de traction, on trouvera dans le tableau suivant les valeurs les plus importantes pour quelques types.

TYPE	DÉCHARGE			INTENSITÉ MAX. de charge en ampères	ENCOMBREMENT approximatif, en mm			POIDS APPROXIMATIF en kg, sans acide	VOLUME D'EAU acidulée à 21° B.
	Capacité en amp.-h.	Temps en h.	Intensité en amp.		hauteur	largeur	long.		
1 A_4	12	1/4	48	24	360	55	220	8,25	2
	14	1/2	28						
	16	3/4	21						
	19	1	19						
1 A_8	18	1/4	72	35	420	55	270	12,8	2,2
	22	1/2	44						
	26	3/4	35						
	29	1	29						
4 A_4	46	1/4	184	96	360	180	222	29	6,8
	56	1/2	114						
	66	3/4	88						
	74	1	74						
4 A_4	72	1/4	288	140	420	180	272	46	9,1
	89	1/2	178						
	104	3/4	138						
	116	1	116						

SYSTÈME ÉLECTRO-PNEUMATIQUE DE DISTRIBUTION DE L'HEURE DE LA COMPAGNIE PARISIENNE DE L'AIR COMPRIMÉ

La Compagnie Parisienne de l'Air Comprimé exposait aux Invalides (classe 96, Horlogerie) le nouveau système de distribution de l'heure qu'elle doit prochainement appliquer



à Paris pour actionner les horloges pneumatiques que l'on se propose d'installer dans les quartiers de la rive gauche voisins de la Seine, les 5e, 6e et 7e arrondissements.

Le système actuel, qui dessert sept arrondissements de la rive droite, est entièrement pneumatique. Une horloge mère, à remontage automatique, installée rue Sainte-Anne, envoie à chaque minute de l'air comprimé dans la canalisation qui relie les horloges secondaires à la station centrale puis met cette canalisation en communication avec l'atmosphère. Cette variation périodique de la pression dans la canalisation fait fonctionner les aiguilles des minutes des horloges secondaires (1).

Ce système, très simple et très robuste, convient fort bien tant que la distance de l'horloge mère à l'horloge secondaire la plus éloignée ne dépasse pas 3 kilomètres. Pour une distance plus grande les fuites inévitables des conduites et les pertes de charge inhérentes à toute transmission rendent le système inapplicable. Il faut alors plusieurs centres de distribution qui peuvent avoir ou chacun une horloge-mère, ou un simple mécanisme commandé par une seule horloge-mère installée dans l'un des centres. C'est cette dernière solution qui a été adoptée par la Compagnie parisienne de l'air comprimé.

Le dispositif est d'ailleurs extrêmement simple et se conçoit aisément sans figures : sur l'arbre de l'horloge-mère qui commande l'admission de l'air comprimé dans le réseau qu'elle est chargée de régler viennent s'appuyer trois frotteurs métalliques ; l'un que nous désignerons par *a* est relié à l'un des pôles d'une batterie d'accumulateurs ; les deux autres *b* et *c* sont respectivement reliés aux extrémités des bobines de deux électro-aimants B et C situés au centre de distribution secondaire qu'il s'agit de commander ; entre ces derniers frotteurs, qui ont leur point de contact à 180° l'un de l'autre, l'arbre métallique est recouvert d'un demi-cylindre en ébonite ; enfin un fil conducteur relie les extrémités libres des bobines des électro-aimants B et C au second pôle de la batterie.

Quant au fonctionnement il se devine : quand le frotteur *b* appuie sur la partie métallique de l'arbre, le frotteur *c* appuie alors sur le cylindre d'ébonite ; l'électro-aimant B se trouve donc excité tandis que C ne l'est pas. Quand l'arbre a tourné de 180° c'est l'inverse qui a lieu. Au moyen des armatures des électro-aimants, il est par conséquent facile d'obtenir un mouvement de va-et-vient d'une tige et comme l'arbre de l'horloge-mère accomplit deux brusques demi-tours par minute cette tige reprendra la même position toutes les minutes. C'est cette tige qui, par l'intermédiaire d'un relais pneumatique, commande la mise en communication de la canalisation du centre de distribution secondaire, soit avec un réservoir d'air comprimé, soit avec l'atmosphère.

J. Reyval.

(1) L'horloge-mère commande, par un système de déclenchement à came, un arbre sur lequel est calé un excentrique actionnant un tiroir. Suivant la position de l'arbre, ce tiroir fait arriver de l'air comprimé sur l'une ou l'autre face d'un piston qui lui-même commande un tiroir plus robuste. Ce dernier met en communication, soit avec un réservoir d'air comprimé, soit avec l'atmosphère, la canalisation qui relie la station centrale de distribution à chacune des horloges secondaires. L'arbre portant l'excentrique accomplissant brusquement un demi-tour toutes les 30 secondes, la canalisation se trouve une fois par minute mise en communication avec le réservoir à air comprimé puis avec l'atmosphère. Dès que l'air comprimé admis dans la canalisation arrive à une horloge secondaire il gonfle un petit soufflet, lequel soulève un levier qui, au moyen d'un rochet, fait avancer d'une dent une roue dont l'axe porte l'aiguille des minutes ; quand la canalisation est mise en communication avec l'atmosphère, le soufflet s'affaisse, et se trouve prêt à agir à l'admission suivante ; pendant ce temps un second rochet maintient la roue dans la position qu'elle a prise.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET DISTRIBUTION

Rapport entre le degré d'irrégularité d'un moteur et l'écart angulaire d'un système tournant commandé par le moteur, par **R. Wikander**. *Industrie Électrique*, t. IX, p. 471-73, 10 novembre 1900.

Lorsque des alternateurs sont commandés directement par des moteurs séparés, les variations inévitables du couple moteur pendant la durée d'un tour donnent lieu à des variations périodiques de la vitesse angulaire du système tournant et de ces variations résultent souvent, comme on sait, de grandes difficultés pour l'accouplement en parallèle des alternateurs. Les constructeurs de moteurs garantissant une certaine valeur du coefficient d'irrégularité, défini par la relation

$$\delta = \frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{\omega_{moy}},$$

où ω est la vitesse angulaire du système tournant, M. Wikander cherche quelle relation existe, dans l'hypothèse où le couple résistant de l'alternateur est constant, entre ce coefficient, le nombre k des impulsions identiques par tour données par le moteur à la manivelle et l'écart angulaire α de la partie tournante par rapport à la position qu'elle occuperait si sa vitese était uniforme pendant toute la durée d'un tour.

Si l'on désigne par β l'angle, exprimé en radians, décrit par le système tournant à partir d'un instant où la vitesse est égale à la vitesse moyenne, la différence entre le couple moteur variable C_m et le couple résistant constant C_r peut s'exprimer en fonction de β par un développement en série de Fourrier.

$$C_m - C_r = A \sin k\beta + B \sin 2k\beta + C \sin 3k\beta + \dots$$
$$+ A_1 \cos k\beta + B_1 \cos 2k\beta + C_1 \cos 3k\beta \dots$$

La variation ΔW de l'énergie cinétique du système à partir de la valeur correspondant à la vitesse moyenne sera donc

$$\Delta W = \int (C_m - C_r)\, d\beta = -\frac{A}{k} \cos k\beta - \frac{B}{2k} \cos 2k\beta$$
$$+ \dots + \frac{A_1}{k} \sin k\beta + \frac{B_1}{2k} \sin 2k\beta + \dots + k_1.$$

D'autre part, on a

$$\alpha = \int \Delta\omega\, dt = \int \Delta\omega \frac{dt}{d\beta} d\beta,$$

et comme $\frac{dt}{d\beta}$ est l'inverse de la vitesse moyenne $\frac{d\beta}{dt}$, on peut écrire

$$\alpha = \frac{1}{\omega_{moy}} \int \Delta\omega\, d\beta.$$

La variation $\Delta\omega$ de la vitesse est liée à la variation ΔW de l'énergie cinétique par la relation

$$\Delta W = k_2 [(\omega_{moy} + \Delta\omega)^2 - \omega_{moy}^2];$$

en négligeant le carré de $\Delta\omega$ et résolvant par rapport à $\Delta\omega$, il vient

$$\Delta\omega = \frac{\Delta W}{2k_2\omega_{moy}} = k_3 \Delta W,$$

k_3 étant une constante. Par conséquent, en portant cette valeur de $\Delta\omega$ dans l'expression de α et remplaçant ΔW par le développement en série trouvé plus haut, on obtient

$$\alpha = k_4 \Big[-\frac{A}{k^2} \sin k\beta - \frac{B}{4k^2} \sin 2k\beta - \frac{C}{9k^2} \sin 3k\beta$$
$$+ \dots - \frac{A_1}{k^2} \cos k\beta - \frac{B_1}{4k^2} \cos 2k\beta - \frac{C_1}{9k^2} \cos 3k\beta$$
$$- \dots + k_1\beta + k_5 \Big].$$

Les constantes k_1 et k_5 sont déterminées par la condition que α soit nul quand β est nul ou égal à 2π; on trouve $k_1 = k_5 = 0$, et par suite on peut écrire

$$\alpha = -k_6 \Big(A \sin k\beta + \frac{B}{4} \sin 2k\beta + \frac{C}{9} \sin 3k\beta + \dots$$
$$+ A_1 \cos k\beta + \frac{B_1}{4} \cos 2k\beta + \frac{C_1}{9} \cos 3k\beta + \dots \Big).$$

En comparant cette expression avec celle de $C_m - C_r$ on voit que ces fonctions périodiques sont absolument synchrones, mais que les amplitudes des ondes d'ordre $2k$, $3k$, etc., sont 4, 9, etc., plus faibles dans α que dans $C_m - C^r$,

Comme l'observation montre que dans $C_m - C^r$ l'onde d'ordre k est déjà de beaucoup prépondérante, M. Wikander en conclut que l'on peut négliger dans α les termes contenant $2k\beta$, $3k\beta$, etc., c'est-à-dire que l'on peut considérer α comme une fonction purement sinusoïdale. Il pose donc

$$\alpha = \alpha_{max} \sin k\beta,$$

et comme il admet aussi que l'on peut écrire $\beta = \omega_{moy}\, t$, il arrive à

$$\alpha = \alpha_{max} \sin k\omega_{moy} t.$$

Reste à trouver ω_{max} et ω_{min} en fonction de α. Pour cela remarquons que l'on a

$$\omega = \omega_{moy} + \frac{d\alpha}{dt} = \omega_{moy} + \alpha_{max}\, k\omega_{moy} \cos k\omega_{moy}\, t.$$

Donc

$$\omega_{max} = \omega_{moy} + \alpha_{max}\, k\, \omega_{moy},$$
$$\omega_{min} = \omega_{moy} - \alpha_{max}\, k\, \omega_{moy},$$

et l'on a pour le coefficient d'irrégularité

$$\delta = \frac{2\alpha_{max}\, k\, \omega_{moy}}{\omega_{moy}} = 2k\, \alpha_{max};$$

si α est exprimé en degrés, il vient

$$\delta = 2k\, \frac{\alpha^0_{max}}{360} \times 2\pi = 0{,}035\, k\, \alpha^0_{max}.$$

Lorsque le moteur n'a qu'une seule manivelle, il suffit de faire $k = 0{,}5$ pour les moteurs à gaz à quatre temps, $k = 1$ pour ceux à deux temps et $k = 2$ pour les moteurs à vapeur ordinaires et les moteurs tandem.

Si le moteur est à plusieurs manivelles, il convient en général de multiplier les valeurs précédentes de k par le nombre de manivelles; ainsi pour un moteur à quatre temps à deux cylindres dont les manivelles sont décalées de 360°, il faut prendre $k = 1$; pour un moteur à deux temps dont les manivelles sont décalées de 180°, il faut prendre $k = 2$; pour un moteur à vapeur à double expansion avec deux manivelles à 90°, on a $k = 4$; pour un moteur à triple expansion avec trois manivelles à 120°, on a $k = 6$; etc. Toutefois ceci n'est exact, encore dans les conditions d'approximation de la formule, que si les couples moteurs des manivelles sont identiques. Or, en supposant même cette identité existante dans le cas de la charge normale, elle ne le sera pas en général pour une autre charge, car aussitôt que la charge de la machine varie, le régulateur change l'admission du cylindre à haute pression tandis que celles des autres restent constantes. De cette non-identité des couples moteurs résultent des déformations dans la courbe représentative de l'expression de $C_r - C_m$ et ces déformations se faisant sentir dans la courbe représentative de α pourront nécessiter le maintien dans l'expression de α de termes en $2k\beta$. Suivant M. Wikander, on pourra néanmoins se servir encore de la relation $\delta = 2k\, \alpha_{max}$ mais à la condition de donner à k une valeur particulière qu'il faudra déterminer en chaque cas à l'aide du diagramme du couple résultant des couples de chaque manivelle. Cette valeur de k aura alors la signification d'un coefficient caractéristique du type de moteur considéré.

Recherches sur les empâtages de plaques d'accumulateurs électriques au plomb**, par Franz Peters.** *Centralblatt fur Accumulatoren und Elementenkunde*, t. I, p. 227 et 259. 1er juillet et 1er août 1900.

Pour le malaxage des oxydes de plomb, on emploie ordinairement l'acide sulfurique ; il se forme du sulfate de plomb ou un sel basique qui lie intimement les particules d'oxyde inattaqué. On sait néanmoins que l'acide sulfurique n'est pas indispensable et qu'on peut obtenir des empâtages en malaxant les oxydes à l'eau pure; les hydrates de plomb qui en résultent ont également la propriété de cimenter la masse.

L'auteur a entrepris des recherches afin de déterminer la meilleure de ces deux méthodes. Ses essais ont porté sur trois procédés différents :

1° *Procédé Stefan Farbaky et Dr Stefan Schenek.* — Ce procédé, décrit dans le brevet allemand 37 012, consiste à faire avec la matière et de l'acide sulfurique à 25 p. 100 une pâte très peu humide et non pétrie. Cette pâte est distribuée sur le quadrillage à garnir en une couche de 3 à 4 mm d'épaisseur au-dessus de la surface de celui-ci; elle est ensuite enfoncée avec une règle jusqu'à ce qu'il se produise un suintement à la surface ; on égalise ensuite la plaque à l'aide d'un couteau. On retourne alors la plaque pour apprêter pareillement le second côté. Après un

séchage de deux à trois jours à l'air, la plaque est plongée le plus rapidement possible dans de l'acide à 25 p. 100. Après vingt-quatre heures, on recommence cette opération, mais en laissant la plaque dans l'acide sulfurique jusqu'à ce que le bruissement qui en résulte ait complètement disparu. Un troisième trempage qui dure dix à douze heures a lieu vingt-quatre heures après ce dernier.

2° *Procédé J. Zacharias.* — D'après ce procédé, décrit dans *Die Accumulatoren*, 1892, p. 89, de Zacharias, les matières (oxydes de plomb, etc.) sont malaxées avec de l'eau pure en une bouillie dure qu'on comprime dans le quadrillage. La plaque est ensuite séchée.

3° *Procédé W.-L. Silvey.* — D'après le brevet américain 459 535, l'oxyde est ici malaxé avec de l'eau pure de façon à obtenir une pâte dure exempte de grumeaux et de petites particules sèches. Le quadrillage est garni de cette pâte, et pendant que celle-ci est encore humide, la plaque est trempée dans l'acide sulfurique de 15 à 25 degrés Baumé où elle reste en moyenne deux à trois jours d'après la quantité d'oxyde; elle est séchée ensuite.

Les plaques d'essais faites par l'auteur, à l'aide de ces 3 procédés avaient l'aspect suivant après leur fabrication : les plaques type Farbaky-Schenek étaient très dures; celles du deuxième type étaient friables dans toute leur épaisseur, et celles du type Silvey présentaient à leur surface une croûte dure pendant que les parties intérieures étaient encore friables, ce qui prouve que l'action de l'acide ne s'est produite ici que superficiellement et que dans ce cas, pour durcir toute la masse par trempage, il faudrait que celui-ci durât plusieurs semaines.

Les plaques essayées ici étaient du type à grille ayant 140 cm² de surface sur un côté. Deux éléments de chaque type étaient montés à 5 plaques dans de l'acide sulfurique de densité 1,15. La formation était effectuée à 2,4 ampères (soit 0,4 ampère par dm² de surface positive) et durait quatorze jours sans interruption.

Après la formation, les positives Parbaky-Schenek présentaient à la surface d'assez grandes quantités de pellicules blanches de sulfate qu'on enlevait facilement avec un couteau et qui d'ailleurs disparaissaient ensuite complètement pendant le fonctionnement de l'accumulateur. La matière négative des plaques Silvey s'était gonflée superficiellement, en particulier sur les plaques du milieu. Ces gonflements étaient comprimés, mais ils reparaissaient à nouveau pendant le fonctionnement de l'élément. Dans les négatives Zacharias, on remarquait également quelques gonflements.

Après la formation, les plaques étaient redressées; on enlevait les particules de matière qui dépassaient et on remontait dans l'acide sulfurique de densité 1,15. Les éléments subissaient alors 13 décharges à 2,5 à 3,2 ampères et charges à 1,2 à 3 ampères jusqu'à obtention d'une capacité constante. A ce moment commençaient les expériences dont on trouvera les détails dans les tableaux suivants :

Pendant la décharge 4, les différences de potentiel étaient prises avec une électrode supplémentaire au cadmium et on obtenait ainsi le tableau 4 *a* suivant :

Dans chaque cas, la décharge était arrêtée au crochet de la courbe.

Ces tableaux montrent une supériorité pour l'empâtage Parbaky-Schenek qui, ainsi qu'on le voit d'après 4 *a*, tient surtout à la bonne qualité des négatives. L'écart de différence de potentiel pendant la décharge est pour celles-ci beaucoup plus faible que celui des deux autres types. La négative la plus mauvaise est celle de l'empâtage Silvey dont la différence de potentiel avec l'électrode supplémentaire monte très rapidement.

Comme électrode positive, l'empâtage Zacharias donne le meilleur résultat et la différence de potentiel en est plus élevée, particulièrement au début de la décharge que celle des deux autres. L'empâtage Silvey se place au deuxième rang au début de la décharge; mais sa différence de potentiel tombe plus vite vers la fin que celle du type Farbaky-Schenek.

Les capacités, énergies, différences de potentiel moyennes aux différentes décharges ont été résumées dans le tableau suivant :

Les courbes de variation de capacité avec l'intensité sont en outre exprimées dans la figure 1, la courbe I se rapportant au type Farbaky-Schenek, II au type Zacharias et III au type Silvey.

C'est le premier empâtage qui donne le plus de capacité, mais c'est aussi celui dont la capacité baisse le plus rapidement pour les fortes intensités.

TEMPS depuis le commencement de la décharge.	TYPE FARBAKY-SCHENEK		TYPE ZACHARIAS		TYPE SILVEY	
	Différence de potentiel en volts.	Force électromotrice en volts.	Différence de potentiel en volts.	Force électromotrice en volts.	Différence de potentiel en volts.	Force électromotrice en volts.
h.m						
			1° Décharge à 4,2 ampères.			
0,0	1,980	2,016	2,138	2,167	2,080	2,120
0,15	1,959	1,998	1,959	1,998	1,960	2,000
0,30	1,958	1,998	1,958	1,997	1,960	1,999
0,45	1,957	1,997	1,957	1,995	1,958	1,998
1	1,952	1,995	1,949	1,990	1,954	1,996
1,15	1,949	1,992	1,943	1,986	1,948	1,988
1,30	1,943	1,983	1,940	1,981	1,941	1,982
1,45	1,941	1,981	1,938	1,978	1,937	1,980
2	1,939	1,978	1,923	1,972	1,924	1,975
2,15	1,932	1,976	1,914	1,959	1,913	1,962
2,30	1,923	1,968	1,895	1,942	1,898	1,946
2,45	1,919	1,960	1,862	1,920	1,868	1,930
3	1,907	1,956	1,821	1,893	1,839	1,905
3,10	—	—	1,740	1,836	—	—
3,15	1,899	1,943	—	—	1,760	1,840
3,30	1,882	1,937	—	—	—	—
3,45	1,866	1,920	—	—	—	—
4	1,843	1,900	—	—	—	—
4,15	1,808	1,877	—	—	—	—
			2° Décharge à 6 ampères.			
0,0	1,980	2,023	1,946	1,987	1,960	2,002
0,15	1,940	1,995	1,926	1,980	1,932	1,983
0,30	1,940	1,993	1,923	1,979	1,930	1,982
0,45	1,940	1,986	1,920	1,978	1,922	1,980
1	1,928	1,980	1,912	1,966	1,919	1,977
1,15	1,920	1,976	1,900	1,959	1,902	1,963
1,30	1,903	1,960	1,880	1,943	1,884	1,952
1,45	1,886	1,945	1,847	1,920	1,860	1,930
2	1,860	1,928	1,760	1,858	1,795	1,886
2,15	1,839	1,916	—	—	—	—
2,30	1,778	1,862	—	—	—	—
			3° Décharge à 8,4 ampères.			
0,0	1,942	2,018	1,940	2,000	1,940	2,000
0,10	1,922	1,997	1,920	1,985	1,922	1,995
0,20	1,921	1,996	1,919	1,982	1,919	1,992
0,30	1,918	1,990	1,904	1,980	1,910	1,980
0,40	1,906	1,980	1,890	1,962	1,899	1,970
0,50	1,899	1,974	1,877	1,953	1,880	1,961
1	1,882	1,960	1,842	1,932	1,849	1,940
1,10	1,863	1,946	1,777	1,882	1,793	1,900
1,20	1,842	1,935	—	—	—	—
1,30	1,820	1,917	—	—	—	—
1,40	1,777	1,880	—	—	—	—
			4° Décharge à 10 ampères.			
0,0	1,908	2,005	1,922	2,008	1,908	2,005
0,5	1,900	2,002	1,901	1,985	1,901	1,998
0,10	1,900	2,000	1,898	1,980	1,884	1,982
0,15	1,898	1,998	1,896	1,978	1,879	1,979
0,20	1,892	1,990	1,885	1,974	1,861	1,972
0,25	1,883	1,984	1,880	1,968	1,840	1,958
0,30	1,875	1,980	1,867	1,960	1,820	1,944
0,35	1,862	1,976	1,860	1,957	1,798	1,928



TEMPS depuis le commencement de la décharge.	TYPE FARBAKY-SCHENEK		TYPE ZACHARIAS		TYPE SILVEY	
	Différence de potentiel en volts.	Force électromotrice en volts.	Différence de potentiel en volts.	Force électromotrice en volts.	Différence de potentiel en volts.	Force électromotrice en volts.
h. m						
			4° Décharge à 10 ampères (suite).			
0,40	1,859	1,965	1,842	1,944	1,760	1,905
0,45	1,843	1,960	1,827	1,937	1,674	1,858
0,50	1,838	1,954	1,812	1,922	—	—
0,55	1,822	1,942	1,779	1,903	—	—
1,0	1,803	1,936	1,694	1,855	—	—
1,5	1,782	1,918	—	—	—	—
1,10	1,740	1,895	—	—	—	—
			5° Décharge à 14 ampères.			
0,0	1,862	1,973	1,883	1,985	1,899	2,000
0,5	1,864	1,976	1,888	1,993	1,899	2,000
0,10	1,860	1,968	1,880	1,985	1,882	1,995
0,15	1,843	1,960	1,875	1,981	1,873	1,983
0,20	1,838	1,957	1,860	1,977	1,858	1,978
0,25	1,823	1,946	1,844	1,963	1,841	1,967
0,30	1,807	1,940	1,833	1,957	1,822	1,960
0,35	1,798	1,934	1,816	1,940	1,802	1,947
0,40	1,775	1,919	1,780	1,922	1,780	1,936
0,45	1,754	1,905	1,743	1,900	1,736	1,904
0,50	1,720	1,883	—	—	—	—

4 *a*. — *Mesures avec électrode supplémentaire.*

TEMPS depuis le commencement de la décharge.	TYPE FARBAKY-SCHENEK		TYPE ZACHARIAS		TYPE SILVEY	
	Positive.	Négative.	Positive.	Négative.	Positive.	Négative.
h. m						
0,0	2,068	0,183	2,160	0,239	2,120	0,212
0,5	2,087	0,194	2,120	0,231	2,120	0,222
0,10	2,096	0,200	2,107	0,220	2,118	0,235
0,15	2,096	0,202	2,102	0,219	2,102	0,238
0,20	2,090	0,203	2,101	0,220	2,099	0,240
0,25	2,085	0,208	2,100	0,223	2,088	0,252
0,30	2,082	0,217	2,099	0,234	2,079	0,260
0,35	2,080	0,220	2,097	0,240	2,062	0,277
0,40	2,078	0,222	2,089	0,248	2,042	0,288
0,45	2,067	0,228	2,083	0,262	1,998	0,319
0,50	2,062	0,239	2,081	0,280	—	—
0,55	2,060	0,241	2,078	0,300	—	—
1	2,053	0,255	2,062	0,365	—	—
1,5	2,040	0,262	—	—	—	—
1,10	2,021	0,283	—	—	—	—

Le relèvement de la courbe III à l'intensité 14 ampères étant accidentel, l'auteur attribue la plus grande constance de capacité à l'empâtage Zacharias, et il en déduit que c'est avec cet empâtage que la diffusion de l'électrolyte à travers la matière active se fait le mieux. Il prouve d'autre part que c'est le plus poreux. Il prend pour cela les plaques chargées dans l'eau pure, entièrement lavées et séchées à basse température (au-dessous de 100 degrés), puis il les plonge



INTENSITÉ de décharge en ampères.	TYPE FARBAKY-SCHENEK			TYPE ZACHARIAS			TYPE SILVEY		
	Capacité en amp.-heures	Différence de potentiel moyenne en volts.	Energie en w.-heures.	Capacité en amp.-heures	Différence de potentiel moyenne en volts.	Energie en w.-heures.	Capacité en amp.-heures	Différence de potentiel moyenne en volts.	Energie en w.-heures.
4,2	17,85	1,920	34,27	13,30	1,924	25,59	13,65	1,924	26,27
6	15	1,901	28,52	12	1,890	22,68	12	1,900	22,80
8,4	14	1,881	26,33	9,80	1,884	18,46	9,80	1,889	18,51
10	11,67	1,854	21,63	10	1,851	18,51	7,50	1,833	13,75
14	11,66	1,813	21,14	10,50	1,840	19,32	10,50	1,839	19,31

dans un certain volume d'acide; après dix-sept heures d'immersion il mesure les quantités d'acide absorbé et trouve

90 cm^3 pour l'empâtage Farbaky-Schenek,
100 » » Zacharias,
95 » » Silvey.

De ces essais l'auteur conclut que les empâtages à l'eau pure sont plus poreux que ceux à base d'acide sulfurique et donnent les meilleures

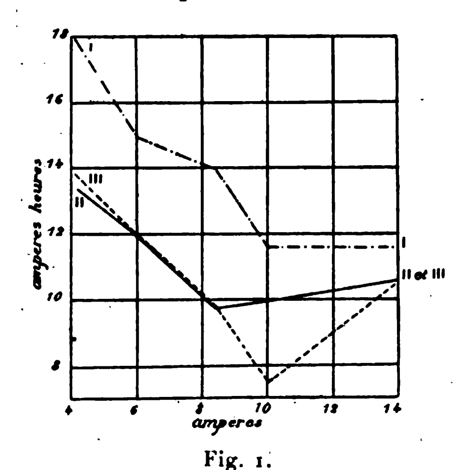


Fig. 1.

positives; mais, par contre, que les négatives sont meilleures avec les pâtes à acide sulfurique. Dans le cas de pâtes malaxées à l'eau pure, il est préférable de sécher complètement la plaque avant son introduction dans l'acide. En la plongeant humide comme, dans la méthode Silvey, on obtient la positive moins poreuse et la négative plus sujette aux gonflements de matière.

L. J.

Nouveau commutateur permettant la charge des batteries à l'aide de la tension de distribution, par l'ingénieur **Arthur Lowit**, *Zeitschrift für Elektrotechnik*, t. XVIII, p. 505, 14 octobre 1900.

On sait quelles difficultés pratiques on rencontre pour la charge des batteries d'accumulateurs, par suite de la nécessité d'avoir pour celle-ci une tension plus élevée que celle du réseau. Il est possible dans certains cas d'arriver à la solution à l'aide d'une machine unique en faisant travailler celle-ci sur le réseau avec des inducteurs loin de la saturation. Mais outre qu'une telle machine travaille dans de mauvaises conditions, la charge de la batterie ne peut s'effectuer qu'aux heures d'arrêt du réseau.

L'emploi de survolteurs permet la charge en utilisant directement la tension aux barres de distribution; mais l'utilisation de ces machines est irrationnelle et elles apportent, de plus, une complication au tableau.

Très souvent dans les petites installations, on effectue simplement la charge en groupant la batterie en deux moitiés en dérivation, branchées aux barres du tableau avec une résistance de réglage en tension. Cette résistance absorbe en pure perte une fraction importante de l'énergie totale.

Le dispositif imaginé ici permet de grouper pour la charge 2/3 des éléments de la batterie, les combinaisons pouvant être effectuées entre chaque tiers, et de n'avoir ainsi qu'un circuit avec une résistance minima pour le réglage.

L'avantage de cette disposition sur la précédente résulte d'une perte moindre d'énergie ainsi que l'indique clairement l'exemple suivant : supposons pour le réseau une différence de potentiel de 110 volts; le nombre d'éléments nécessaires sera de 60 environ. En admettant une intensité de charge de 100 ampères et une différence de potentiel moyenne à la charge, de 2,40 volts par élément, on absorbera en moyenne dans la résistance $110 - 2{,}4 . 30 = 38$ volts dans le premier cas et $110 - 2{,}4 . 40 = 14$ volts dans le second. La puissance perdue deviendra

2.100.38 = 7 600 watts dans le premier cas, et 100.14 = 1 400 watts dans le second. Quant à la puissance totale nécessitée par la charge, elle atteindra respectivement 2.100.110 = 22 000 watts et 100.110 = 11 000 watts.

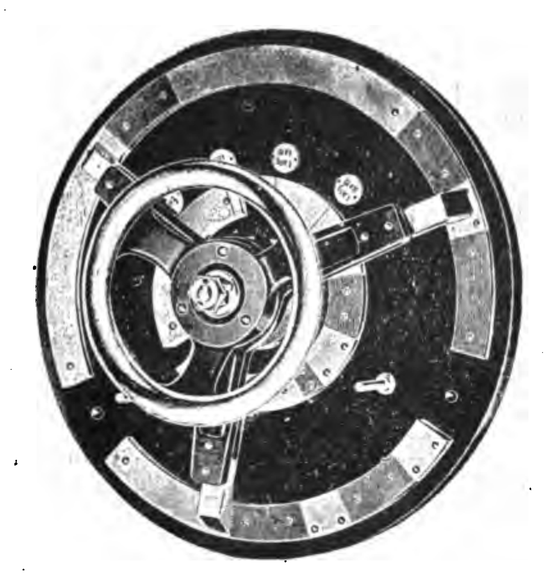


Fig. 1.

L'appareil employé ici est un commutateur à trois branches (fig. 1) qui réalise très simplement les quatre groupements suivants :

Position 1 — les 3 tiers de la batterie sont en tension pour la décharge ;
Position 2 — les 2 tiers II et III sont en tension pour la charge ;
Position 3 — les 2 tiers I et III sont en tension pour la charge ;
Position 4 — les 2 tiers I et II sont en tension pour la charge.

La figure 2 montre la disposition schématique. Dans chacun des cas, le circuit est fermé de la façon suivante :

Position 1 — + III, *a*, A, *b*, + Réseau, — Réseau, *c*, C. *d*, Z, — I, + I, — II, + II, *e*, B, *f*, — III.
Position 2 — + Réseau, *b*, A, *a*, + III, — III, *f*, B, *e*, + II, — II, *g*, *h*, C, *i*, W, — Réseau,
Position 3 — + Réseau, *b*, A, *a*, + III-III, *f*. B, *g*, + I, — I, Z, *d*, *k*, C, *i*, W, — Réseau.
Position 4 — + Réseau, *b*, A, *e*, + II, — II, + I, — I, Z, *d*, *k*, C, *i*, W, — Réseau.

Chaque tiers de la batterie est ainsi chargé en deux fois. La manœuvre se fait très simplement ; si on connaît le temps de charge des éléments, il suffit alors de laisser le commutateur dans chacune des positions 2, 3 et 4 pendant la moitié de ce temps. Si on prend comme indice de fin de charge la différence de potentiel, on fait la manœuvre périodiquement, toutes les demi-heures par exemple.

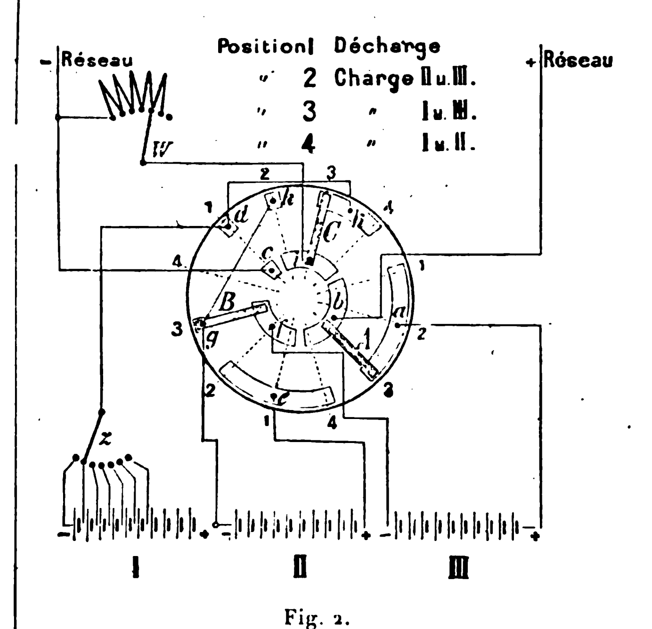


Fig. 2.

La construction de ces appareils est entreprise par la Société D[r] Paul Meyer à Berlin qui livre actuellement trois grandeurs différentes correspondant à 30, 100 et 200 ampères. L. J.

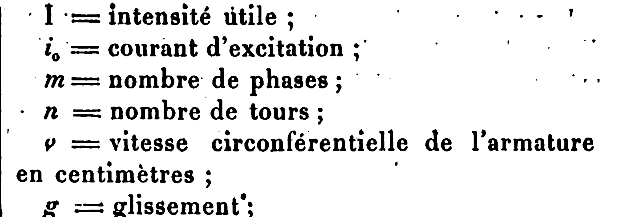
MOTEURS

Calcul des moteurs asynchrones, par **J. Fischer Hinnen** *Zeitschrift für Electrotechnik*, t. XVIII, p. 346, 357, 370, 15, 22, 29 juillet 1900.

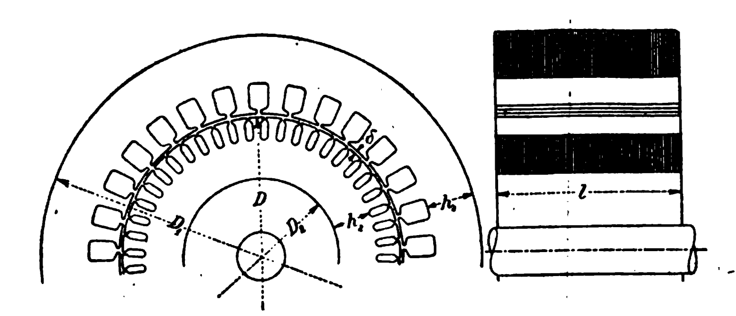
La théorie des moteurs asynchromes a été souvent exposée par les auteurs, d'une façon plus ou moins élégante, mais ils se sont bornés en général à donner une théorie d'ensemble de ces moteurs sans se préoccuper de l'application de leurs formules à la pratique. Dans les derniers numéros de la *Zeitschrift für Elektrotechnik*, M. Fischer-Hinnen reprend la théorie de ces moteurs en prenant pour point de départ le diagramme de M. Blondel, et il se préoccupe avant tout d'indiquer comment les formules doivent être employées dans les divers cas de la pratique industrielle.

Notations employées :

E = force électromotrice efficace d'une phase ;
J = intensité efficace ;
$\bar{E}$ = amplitude maxima de la force électromotrice ;
$\bar{J}$ = amplitude maxima de l'intensité ;



I = intensité utile ;
i_0 = courant d'excitation ;
m = nombre de phases ;
n = nombre de tours ;
v = vitesse circonférentielle de l'armature en centimètres ;
g = glissement ;



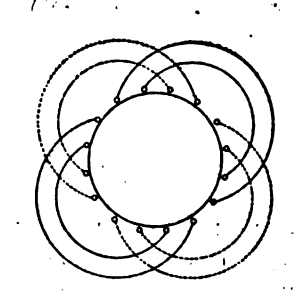


Fig. 1 et 2.

c = nombre de périodes ;
p = nombre de pôles ;
$\omega_1 = 2\pi c$;
$\omega_2 = g\,\omega_1 = 2\pi g c$;
$D\ D_1\ D_2$ = diamètres en centimètres (fig. 1) ;
$b = \frac{D\pi}{p}$ largueur d'un pôle ;
l = longueur de l'armature en cm (papier compris) ;
λ = coefficient de foisonnement ;
N_1 = nombre total de barres primaires ;
N_2 = nombre total de barres secondaires ;
N' = nombre d'encoches ;
Q = nombre de circuits en parallèle ;
$R_1\ R_2$ = résistances par phase du primaire et du secondaire ;
$L_1,\ L_2$ = coefficient de self-induction ;
α = rapport de la réluctance totale à celle de l'entrefer ;
δ = entrefer en cm ;
$100\ \varepsilon$ = perte ohmique en p. 100 ;
$100\ \varepsilon'$ = pertes dans le fer en p. 100 ;
$v_1\ v_2$ = coefficients de dispersion ;
$\sigma = 1 - \frac{1}{v_1 v_2}$

Enroulements. — On peut grouper tous les genres d'enroulements en deux classes : a) *les enroulements à phases séparées*, b) *les enroulements à phases imbriquées*. Les premiers sont caractérisés par ce fait que $\frac{1}{m}$ de la largeur du pôle est couverte exclusivement de conducteurs appartenant à une même phase. Ce genre d'enroulement est ordinairement employé pour les

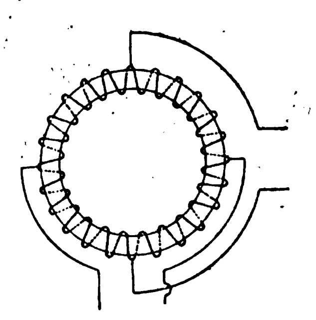


Fig. 3.

stators ; les figures de 2 à 5 représentent les schémas dans les cas de l'anneau Gramme et du

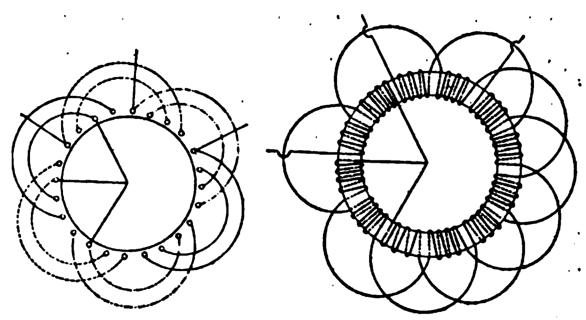


Fig. 4 et 5.

tambour. Les enroulements à phases imbriquées se confondent avec les tambours en série des dynamos continues.

Les rotors sont presque exclusivement munis d'enroulements à phases séparées, il en est de même pour les stators des grandes machines,

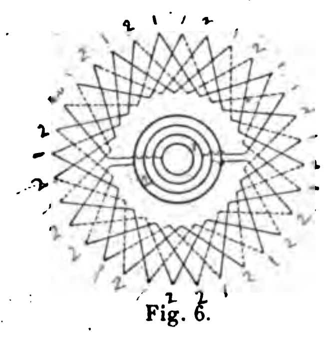


Fig. 6.

lorsque le diamètre du fil dépasse 4 ou 5 milimètres. — Les figures 6 et 7 donnent des exemples d'enroulements continus

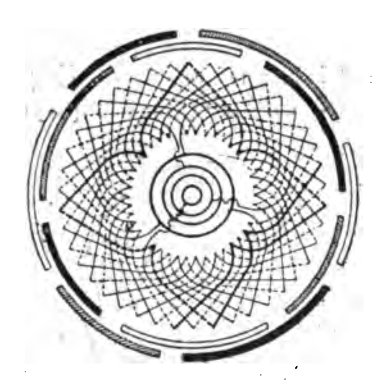


Fig. 7.

La différence caractéristique entre les deux modes d'enroulements consiste dans ce fait que dans l'enroulement à phases séparées les barres d'une phase ne couvrent que $\frac{1}{m}$ de la largeur polaire, tandis que dans l'enroulement à phases imbriquées chaque phase couvre $\frac{2}{m}$ de la largeur polaire, de sorte que les phases se recouvrent alternativement. C'est pour cette raison que l'enroulement de la figure 8 appartient au premier genre quoique en apparence ce soit un tambour. Cet enroulement se recommande par son faible encombrement. Dans cette catégorie il faut ranger les induits à cage d'écureuil et les induits à phases (fig. 9 et 10).

Les enroulements à phases séparées présentent cet avantage que, pour le même courant à vide et la même saturation ils nécessitent de 10 à 15 p. 100 de spires en moins et, pour la même perte ohmique, 20 à 25 p. 100 de cuivre en moins.

I. — Formules générales

1. *Production du champ tournant.* — La manière la plus simple d'arriver au champ tournant

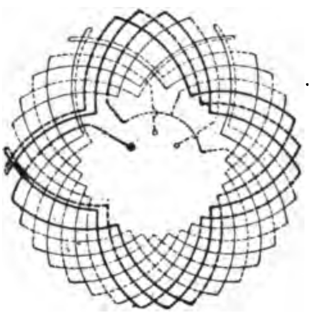


Fig. 8.

consiste à représenter les différents champs alternatifs produits par chaque phase et à les additionner de manière à en obtenir la résultante. Pour plus de commodité, nous supposerons la surface polaire déroulée sur un plan.

Nous n'examinerons ici que deux cas, tous

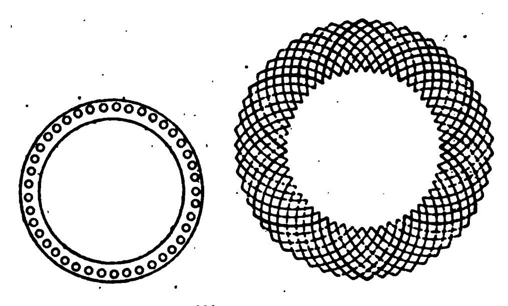


Fig. 9 et 10.

deux relatifs au courant triphasé. Dans le premier nous considérerons un enroulement suivant le schéma de la figure 4 avec une spire par pôle et par phase. Dans le deuxième cas, nous considérerons un enroulement continu d'après la figure 7 avec un grand nombre de spires. Désignons par 1 l'intensité maxima du champ produit par une seule phase.

Si l'on porte en ordonnées les intensités du champ tous les $\frac{1}{48}$ de période, on obtient un schéma facile à construire et qui montre que le maximum du champ résultant se déplace de $\frac{1}{3}$

de la largeur polaire au bout de $\frac{1}{6}$ de période, et par suite de 2 largeurs polaires au bout d'une période : en outre le champ subit dans ce parcours plusieurs variations, de telle sorte qu'il reprend sa forme primitive après $\frac{1}{6}$ de période.

Comme le passage d'une spire à l'autre est, non pas brusque, mais continu par suite de la dispersion, la forme du champ se rapproche, même avec un petit nombre de spires, d'une sinusoïde. Pour simplifier le calcul, nous remplacerons le champ réel, variable de forme et d'intensité, par un champ sinusoïdal de grandeur constante.

Nous désignerons par :

$\overline{B}_e$ = l'intensité maxima du champ produit par une seule phase;

$\overline{B}_s$ = l'intensité maxima du champ tournant fictif ;

$\overline{\varphi}$ = le flux maximum total produit par un pôle et une phase ;

Φ = le flux total par pôle, produit par toutes les phases.

Nous avons entre les diverses grandeurs les relations suivantes :

$$\overline{B}_e = \frac{4\pi}{10}\,\frac{\overline{J}\,N}{pqm}\,\frac{1}{2\delta\alpha} \qquad (1)$$

$$\overline{\varphi} = kbl\gamma\overline{B}_e \qquad (2)$$

$$\Phi = k'm\varphi = \frac{4\pi}{10}\,\frac{\overline{J}N}{pq}\,\frac{bl\gamma}{2\delta\alpha}.k.k' \qquad (3)$$

$$\overline{B}_s = \frac{\pi}{2}\,\frac{kk'\overline{J}\,N}{pq\delta\alpha} = \frac{p\Phi}{2\gamma Dl} \qquad (4)$$

Ces formules sont évidemment générales et se rapportent aussi bien au primaire qu'au secondaire.

Tableau I. — Valeurs de *k* et de *k'*.

Nombre de spires par pôle et par phase	2 phases a		2 phases b		3 phases a		3 phases b		4 phases Fig. 9		6 phases Fig. 9		Induit en court-circuit Fig. 10	
	k	*k'*	*k*	*k'*	*k*	*k'*	*k*	*k'*	*k*	*k'*	*k*	*k'*	*k*	*k'*
$\frac{N'}{pm}$ = 1	1	0,5	—	—	1	0,415	—	—	1	0,411	1	0,420	1	0,410
2	0,81	0,47	—	—	0,92	0,431	—	—	0,96	0,420	0,97	0,420	1	0,410
3	0,79	0,473	—	—	0,89	0,444	—	—	0,94	0,430	0,96	0,425	1	0,410
4	0,78	0,477	1	0,57	0,84	0,467	0,68	0,50	0,92	0,440	0,94	0,434	1	0,410
∞	0,75	0,490	1	0,52	0,84	0,467	0,67	0,51	0,875	0,456	0,92	0,441	1	0,410

a) Phases séparées. *b*) Phases imbriquées.

Tableau II. — *Différences entre les champs véritables et les champs fictifs.*

Nombre de spires par pôle et par phase	2 phases a		2 phases b		3 phases a		3 phases b	
	+	−	+	−	+	−	+	−
$\frac{N'}{pm}$ = 1	11 %	21 %	%	%	5 %	8,5 %	—	—
2	8	10	—	—	6	2,5	—	—
3	4	5	—	—	3	2	—	—
4	3	3	—	—	0,5	0,5	—	—
∞	2,7	2,7	3,2	3,2	0,2	0,2	0,5	0,5

Le nombre des spires n'influe pas seulement sur la forme de la courbe, mais encore sur la dispersion. Comme on le voit, celle-ci diminue lorsque le nombre de spires augmente. L'inten-

sité du champ tournant varie d'autant moins que le nombre de spires est plus grand. Si ces variations sont grandes, le couple et le facteur de puissance en sont affectés.

2. *Force électromotrice produite par rotation d'un champ sinusoïdal.* — Nous distinguerons plusieurs cas, suivant le genre d'enroulement :

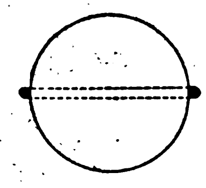


Fig. 11.

1° La bobine n'a qu'une seule spire composée de 2 barres (fig. 11).

La force électromotrice instantanée est

$$E_{inst} = \frac{2vl\gamma B_e \sin \omega t}{10^8}$$

$$v = \frac{D\pi n}{60} = \frac{2D\pi}{p} \quad c = 2bc$$

Donc

$$\overline{E} = \frac{4cbl\gamma B_e}{10^8} = \omega\Phi 10^{-8}$$

Donc la force électromotrice efficace est :

$$E = \frac{\omega\Phi}{\sqrt{2}} 10^{-8}$$

2° La bobine comprend un grand nombre

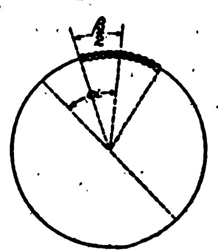


Fig. 12.

de spires réparties sur $\frac{1}{m}$ de la largeur du pôle (fig. 12).

On a :

$$E = \frac{\omega}{\sqrt{2}} \frac{\Phi N}{10^8} \left(\frac{4m}{\pi} \sin \frac{\pi}{2m} \right) \text{ [1]}$$

3° L'enroulement comprend $\frac{2}{m}$ de la largeur polaire (fig. 7).

On trouve de même :

$$E = \frac{\omega}{4\sqrt{2}} \frac{\Phi N}{10^8} \left(\frac{2m}{\pi} \sin \frac{\pi}{m} \right).$$

Désignons par K les parenthèses des deux formules précédentes, parenthèses qui dépendent uniquement de l'enroulement. La force électromotrice efficace est toujours donnée par :

$$E = \frac{K}{4\sqrt{2}} \frac{\omega\Phi N}{10^8 mq}$$

Le tableau suivant donne les valeurs de K.

TABLEAU III. — *Valeurs de* K

NOMBRE DE SPIRES PAR PÔLE et par phase	1 PHASE	2 PHASES a	2 PHASES b	3 PHASES a	3 PHASES b	4 PHASES	5 PHASES	6 PHASES	COURT-circuit
1	—	2	—	2	—	2	2	2	2
2	—	1,85	—	1,93	—	1,96	1,976	1,983	2
3	—	1,82	—	1,92	—	1,954	1,97	1,98	2
4	1,385	1,81	2,77	1,91	1,66	1,952	1,97	1,98	2
∞	1,27	1,79	2,54	1,91	1,66	1,94	1,97	1,98	2

a) Phases séparées, *b*) Phases imbriquées.

[1] En effet soit $\beta = \frac{\pi}{2m}$ la moitié de l'arc occupé par la bobine et $\alpha = \omega t$ l'angle que fait le milieu de la bobine avec le diamètre origine au temps t. On a

$$E_{inst} = \frac{p}{q} \frac{vB_e\gamma}{10^8} \int_{\alpha-\beta}^{\alpha+\beta} \sin \frac{\pi p}{N} x dx = \frac{1}{q} \frac{vB_e l\gamma N}{10^8 \pi}$$

$$\left[\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta) \right] = \frac{2}{\pi} \frac{vB_e l\gamma N}{q 10^8} \sin\alpha \sin\beta.$$

Multipliant haut et bas par m et remplaçant v par sa valeur, on trouve

$$E = \frac{c}{\sqrt{2}} \frac{bl\gamma B_e N}{10^8 mq} \left(\frac{4m}{\pi} \sin \frac{\pi}{2m} \right) = \frac{\omega}{4\sqrt{2}} \frac{\Phi N}{10^8} \left(\frac{4m}{\pi} \sin \frac{\pi}{2m} \right)$$

3. *Rôle de la self-induction.* — L'égalité précédente nous donne la valeur de la tension induite dans un enroulement par rotation d'un flux Φ sans tenir compte de la façon dont ce flux est produit. Si l'on désigne par exemple par Φ le flux produit par les ampères-tours primaires, on obtient la force électromotrice de *self-induction* E_s si on applique la formule au primaire ou la force électromotrice *induite* E_s si on applique la formule au secondaire. Inversement, en remplaçant Φ par Φ_2 et N par N_2, on trouve la force électromotrice de self-induction secondaire.

Or nous avons trouvé :

$$\Phi = \frac{4\pi}{10} \frac{\bar{J}N}{pq} \frac{bl\gamma}{2\delta\alpha} kk'$$

et en portant dans la valeur de E :

$$E_s = \omega \left(\frac{Kkk'\pi}{10^9} \frac{N^2}{mq^2p} \frac{bl\gamma}{2\delta\alpha} \right) \frac{\bar{J}}{\sqrt{2}} = \omega \left(\frac{Kkk'\gamma}{2.10^8} \frac{N^2}{mq^2p^2} \frac{Dl}{\delta\alpha} \right) J_{eff}$$

En réalité, il faut encore multiplier cette expression par un coefficient de dispersion variant de 1,03 à 1,09. On trouve alors pour le primaire :

$$E'_s = \omega_1 \left(\frac{K_1k_1k'_1\gamma}{2.10^8} \frac{N_1^2}{m_1q_1^2p^2} \frac{Dl}{\delta\alpha} \nu_1 \right) J_1 = \omega_1 L_1 J_1.$$

et pour le secondaire :

$$E_1'' = \omega_2 \left(\frac{K_2k_2k'_2\gamma}{2.10^8} \frac{N_2^2}{m_2q_2^2p^2} \frac{Dl}{\delta\alpha} \nu_2 \right) J_2 = \omega_2 L_2 J_2 = g\omega_1 L_2 J_2.$$

Dans les induits en court-circuit on a

$$K_2 = 2, k_2 = 1, k'_2 = 0,41, q = \frac{p}{2}, m_2 = \frac{N_2}{p}$$

et on trouve

$$E_s'' = g\omega_1 \left(\frac{0,81\gamma}{10^8} \frac{N_2Dl}{p^2\delta\alpha} \nu_2 \right) i_2$$

i_2 étant l'intensité dans une barre.

4. *Relations entre les champs, les forces électromotrices et les intensités.* — Désignons par :

$\nu_1\Phi_1$ le flux total du primaire y compris la dispersion ;

Φ_1 la partie de ce flux qui pénètre dans l'armature ;

$\nu_2\Phi_2$ le flux total du champ tournant produit par le secondaire ;

Φ_2 la partie de ce flux qui est coupée par les barres primaires.

Le véritable flux primaire Φ_m est donc la résultante de $\nu_1\Phi_1$ et de Φ_2, de même on a dans l'armature un champ résultant Φ_a qui a pour composantes $\nu_2\Phi_2$ et Φ_1. En ce qui concerne les directions, il est clair que Φ_2 a la même direction que le courant induit ou que E_2 et est par suite décalé de 90° par rapport à Φ_a. On obtient ainsi le diagramme des flux (fig. 13).

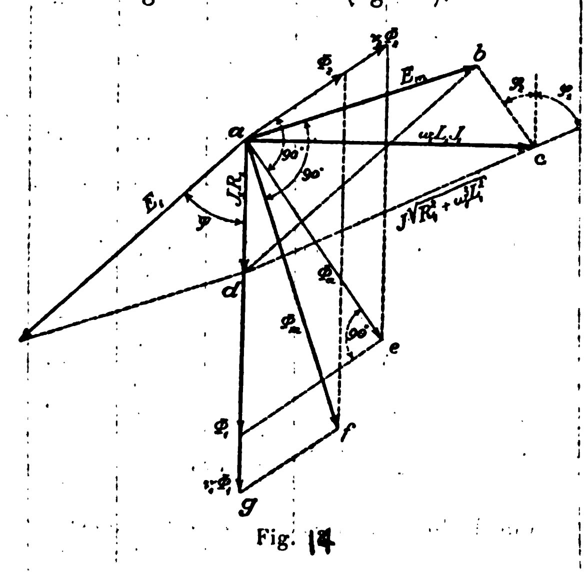


Fig. 14

On peut de la même façon trouver le diagramme des forces électromotrices (fig. 14).

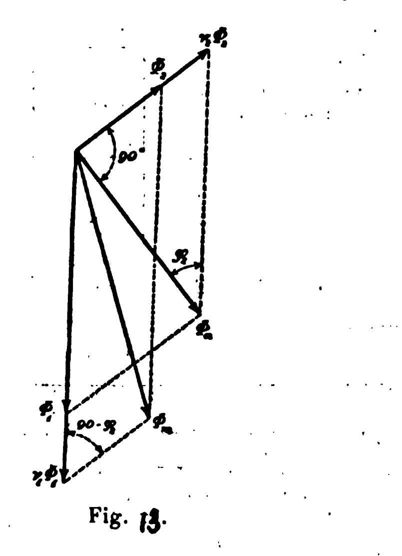


Fig. 13.

Considérons par exemple le circuit primaire, on y distingue 3 tensions : la résistance ohmique J_1R_1, la tension aux barres E_1 et une troisième

Tableau IV. — Valeurs de $\frac{J_1}{I_0}$.

	$x =$	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6
$y = 20$	$\sigma = 0{,}06$	1,010	1,055	1,133	1,231	1,350	1,475	1,608	1,744	1,883	2,026	2,170	2,317	2,46[illegible]
	$\sigma = 0{,}08$	1,010	1,055	1,133	1,231	1,350	1,474	1,607	1,742	1,881	2,021	2,163	2,306	2,44[illegible]
	$\sigma = 0{,}10$	1,010	1,055	1,133	1,231	1,347	1,472	1,604	1,740	1,879	2,016	2,156	2,290	2,42[illegible]
	$\sigma = 0{,}12$	1,010	1,055	1,133	1,230	1,344	1,468	1,600	1,735	1,867	2,003	2,140	2,272	2,40[illegible]
	$\sigma = 0{,}14$	1,010	1,055	1,133	1,229	1,343	1,468	1,595	1,726	1,856	1,990	2,124	2,250	2,38[illegible]
$y = 35$	$\sigma = 0{,}06$	1,014	1,064	1,144	1,250	1,373	1,510	1,650	1,797	1,946	2,100	2,275	2,415	2,57[illegible]
	$\sigma = 0{,}08$	1,014	1.064	1,144	1,250	1,373	1,510	1,648	1,794	1,944	2,093	2,246	2,402	2,5[illegible]
	$\sigma = 0{,}10$	1,014	1,064	1,144	1,250	1.373	1,506	1,646	1,788	1,936	2,087	2,237	2,388	2,5[illegible]
	$\sigma = 0{,}12$	1,014	1,064	1,144	1,249	2,371	1,502	1,940	1,780	1,925	2,071	2,217	2,360	2,50[illegible]
	$\sigma = 0{,}14$	1,014	1,064	1,144	1,248	1,368	1,496	1,625	1,763	1,910	2,053	2,193	2,332	2,4[illegible]
$y = 50$	$\sigma = 0{,}06$	1,015	1,066	1,150	1,262	1,388	1,525	1,670	1,825	1,980	2,140	2,300	2,475	2,64[illegible]
	$\sigma = 0{,}08$	1,015	1,066	1,150	1,261	1,385	1,522	1,666	1,822	1,975	2,130	2,290	2,460	2,62[illegible]
	$\sigma = 0{,}10$	1,015	1,066	1,149	1,260	1,383	1,520	1,662	1,815	1,970	2,120	1,270	2,440	2,59[illegible]
	$\sigma = 0{,}12$	1,015	1,066	1,149	1,257	1,381	1,517	1,656	1,806	1,958	2,105	2,250	2,412	2,56[illegible]
	$\sigma = 0{,}14$	1,015	1,066	1,148	1,255	1,380	1,512	1,648	1,797	1,945	2,090	2,230	2,385	2,53[illegible]
$y = 100$	$\sigma = 0{,}06$	1,017	1,071	1,159	1,270	1,400	1,540	1,692	1,850	2,015	2,180	2,348	2,520	2,69[illegible]
	$\sigma = 0{,}08$	1,017	1,071	1,159	1,269	1,398	1,539	1,689	1.845	2,010	2,164	2,335	2,500	2,67[illegible]
	$\sigma = 0{,}10$	1,017	1,071	1,158	1,268	1,396	1,536	1,684	1,840	2,000	2,155	2,314	2.480	2,64[illegible]
	$\sigma = 0{,}12$	1,017	1,071	1,158	1,267	1,394	1,532	1,678	1,828	1,985	2,140	2,290	2,450	2,61[illegible]
	$\sigma = 0{,}14$	1,017	1,071	1,157	1,263	1,390	1,525	1,670	1,818	1,970	2,112	2,270	2,420	2,57[illegible]
$y = \infty$	$\sigma = 0{,}06$	1,020	1,077	1,166	1,280	1,413	1,558	1,715	1,880	2,050	2.220	2,398	2,574	2,76[illegible]
	$\sigma = 0{,}08$	1,020	1,077	1,166	1,278	1,411	1,555	1,711	1,870	2,040	2,205	2,380	2,554	2,73[illegible]
	$\sigma = 0{,}10$	1,020	1,077	1,165	1,276	1,409	1,552	1,703	1,860	2,030	2,190	2,360	2,526	2,70[illegible]
	$\sigma = 0{,}12$	1,020	1,077	1,165	1,274	1,405	1,546	1,696	1,850	2,015	2,170	2,336	2,500	2,66[illegible]
	$\sigma = 0{,}14$	1,020	1,077	1,164	1,272	1,400	1,539	1,688	1,840	2,000	2,150	2,312	2,465	2,62[illegible]

tension E_m, produite par rotation du flux Φ_m. J_1R_1 est en phase avec Φ_1, E_m est décalé de 90° par rapport à Φ.

Avant de calculer les différentes grandeurs, nous ferons ici une remarque sur l'angle de phase secondaire φ_2. La figure 13 nous donne :

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{\nu_2 \Phi_2}{\Phi_a}.$$

Multiplions haut et bas par $\frac{\omega_2 \; K_2 \; N_2}{4\sqrt{2}\; 10^8 \; m_2 \; q_2}$, le numérateur représentera la force électromotrice de self-induction $J_2\omega_2L_2$ et le dénominateur la tension secondaire induite $E_2 = J_2R_2$.

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{\omega_2 L_2 J_2}{R_2 J_2} = \frac{g\omega_1 L_2}{R_2} = x.$$

On voit que $\operatorname{tg} \varphi_2 = x$ est proportionnel au glissement et constitue un facteur très important dans le calcul du moteur. Nous exprimerons toutes les grandeurs en fonction de x, ce qui nous conduira à des formules simples.

Nous introduirons, d'après M. Blondel, un nouveau coefficient de dispersion

$$\sigma = 1 - \frac{1}{\nu_1 \nu_2}.$$

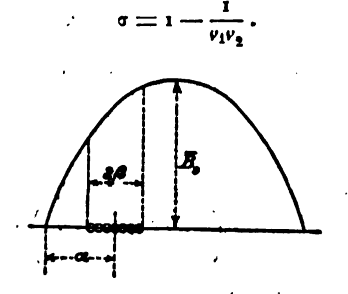


Fig. 15.

a. *Flux*. — La figure 15 nous donne :

$$\Phi^2_m = \nu_1^2 \Phi_1^2 + \Phi^2_2 - 2\nu_1 \Phi_1 \Phi_2 \sin \varphi_2$$

$$\Phi_1 = \frac{\Phi_a}{\cos \varphi_2} = \Phi_a \sqrt{1 + x^2}$$

$$\Phi_2 = \frac{\Phi_a}{\nu_2} x.$$

$$\sqrt{\frac{1+x^2}{\left(x\sigma-\frac{1}{y}\right)^2+\left(1+\frac{x}{y}\right)^2}}=\sqrt{\frac{1+x^2}{A}}$$

2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4	5	6	7	8	10	12	14	16
,600	2,740	2,870	3,000	3,130	3,260	3,390	4,000	4,550	5,050	5,510	6,300	6,950	7,500	7,950
,580	2,716	2,850	2,975	3,100	3,225	3,350	3,930	4,440	4.900	5,310	5,950	6,540	7,000	7,350
,560	2,685	2,820	2,940	3,060	3,180	3,295	3,840	4,300	4,720	5;070	5,650	6,020	6,460	6,730
,530	2,655	2,780	2,900	3,010	3,130	3,230	3,730	4,150	4,520	4,830	5,320	5,595	5,960	6,160
,500	2,615	2,740	2,850	2,950	3,060	3,160	3,620	4,000	4,310	4,570	4,970	5,270	5,500	5,650
,725	2,880	3,040	3,207	3,340	3,490	3,630	4,340	5,000	5,590	6,170	7.180	7,790	8,650	9,260
,705	2,852	3,010	3,160	3,300	3,435	3,570	4,230	4,850	5,385	5,870	6,730	7,360	7,830	8,260
,680	2,820	2,970	3,110	3,250	3,380	3,510	4,120	4,660	5,140	5,560	6,270	6,750	7,160	7,460
,645	2,782	2,930	3,060	3,180	3,310	3,430	3,990	4.470	4,870	5,230	5,810	6,170	6,410	6,640
,610	2,740	2,870	2,990	3,100	3,230	3,340	3,840	4,270	4,570	4,930	5,400	5,650	5,820	6,000
,790	2,950	3,110	3,270	3,430	3,590	3,735	4,490	5,200	5,850	6,470	7,540	8,450	9,240	9,900
,770	2,920	3,080	3,230	3,380	3,530	3,680	4,375	5,030	5,600	6,130	7,020	7,740	8,310	8,800
,740	2,890	3,035	3,180	3,320	3,460	3,600	4,250	4,830	5,330	5,770	6,480	7,030	7,460	7,800
,700	2,840	2,980	3,120	3,250	3,390	3,510	4,100	4,610	4,030	5,400	5,960	6,390	6,700	6,930
,660	2,790	2,925	3,050	3,180	3,300	3,410	3,940	4,390	4,740	5,050	5,490	5,800	6,050	6,260
,860	3,025	3,200	3,385	3,540	3,710	3,870	4,690	5,450	6,180	6,840	8,050	9,090	9,950	10,700
,830	3,000	3,165	3,326	3,480	3,650	3,800	4.560	5,250	5,890	6,450	7,320	8,200	8,840	9,350
,800	2,955	3,115	3,264	3,410	3,570	3,710	4,410	5,020	5,560	6,030	6,780	7,350	7,810	8,160
,760	2,910	3,055	3,200	3,340	3,480	3,610	4,240	4,760	5,230	5,610	6,200	6,620	6,960	7,180
,710	2,850	2,995	3,120	3,250	3,380	3,500	4,060	4,520	4,900	5,210	5,700	5,980	6,220	6,380
,932	3,120	3,290	3,470	3,650	3,830	4,000	4,880	5,720	6,520	7,270	8,780	9,760	10,750	11,550
,900	3,075	3,250	3,420	3,590	3,760	3,920	4,720	5,490	6,180	6,790	8,000	8,670	9,360	9,850
,860	3,025	3,190	3,360	3,510	3,670	3,820	4,560	5,220	5,800	6,300	7,250	7,700	8,140	8,500
,820	2,973	3,130	3,280	3,425	3,580	3,710	4,380	4,940	5,410	5,820	6,550	6,850	7,190	7,420
,770	2,915	3,060	3,200	3,330	3,470	3,590	4,180	4,650	5,050	5,370	5,960	6,150	6,380	6,520

Portant dans la première égalité on trouve :

$$\Phi_a = \Phi_m \frac{1}{\nu_1\sqrt{1+\sigma^2 x^2}}$$

Φ_m varie très peu avec la charge et l'on peut remplacer E_m (fig. 14) par E_1.

On a donc :

$$\Phi_m = \frac{4\sqrt{2}\, 10^8 m_1 q_1 E_1}{k_1 \omega_1 N_1}.$$

Ainsi donc, tandis que Φ_m peut être considéré comme pratiquement constant pour toutes les charges, il n'en est pas de même pour Φ_a. Au démarrage, x est très grand (50 à 120) et φ_a tombe au $\frac{1}{5}$ et même au $\frac{1}{15}$ de sa valeur normale. C'est ce qui a conduit Dobrovolsky à employer des induits massifs, lorsque le moteur n'était pas pourvu de bagues de contact. L'échauffement par courants de Foucault n'est pas à craindre à cause de la basse fréquence.

b. *Tensions*. — Le flux secondaire est relié à la tension secondaire par la relation :

$$\Phi_a = \frac{4\sqrt{2}\, 10^8 m_2 q_2 E_2}{g \omega_1 k_2 N_2}$$

Remplaçant Φ_a par sa valeur on trouve, en prenant $y = \frac{\omega_1 L_1}{R_1}$

$$E_2 = g\, \frac{E_1 N_2 k_2 m_1 q_1}{N_1 k_1 m_2 q_2}\, \frac{1}{\nu_1 \sqrt{\left(x\sigma - \frac{1}{y}\right)^2 + \left(1+\frac{x}{y}\right)^2}}$$

La connaissance de E_2 n'est intéressante qu'au point de vue de l'isolement. Nous voyons par exemple que E_2 est maximum au démarrage ($g = 1$). Mais comme x est alors très grand, la tension secondaire ne sera guère que le $\frac{1}{4}$ de la tension du réseau. Si le démarrage se fait au moyen de résistances, E_2 se rapproche d'autant plus de E_1 que ces résistances seront plus grandes.

c. *Intensité primaire.* — Nous allons maintenant analyser chaque flux séparément et combiner ensuite les forces électromotrices induites par ces flux. Nous pouvons par exemple considérer E_m comme la résultante de deux forces électromotrices : la self-induction proprement dite $\omega_1 L_1 J_1$ (produite par le champ tournant $v_1 \Phi_1$ et en retard sur lui de 90°) et l'induction mutuelle (produite par le champ secondaire Φ_2). On obtient ainsi le triangle $a\ b\ c$ (fig. 14) semblable à agf. On peut ainsi calculer J_1 et l'on trouve [1]

$$J_1 = \frac{E_1}{\omega_1 L_1} \sqrt{\frac{1+x^2}{\left(x\sigma - \frac{1}{y}\right)^2 + \left(1 + \frac{x}{y}\right)^2}} = \frac{E}{\omega_1 L_1} \sqrt{\frac{1+x^2}{A}}$$

Nous examinerons deux cas particuliers. Dans la marche à vide la vitesse de l'armature est sensiblement égale à celle du champ tournant de telle sorte que l'on peut poser $x = 0$. D'autre part $\frac{1}{y^2}$ peut être négligé vis-à-vis de l'unité, car y est presque toujours supérieur à 20, il reste

$$i_0 = \frac{E_1}{\omega_1 L_1}$$

A vrai dire, i_0 ne représente que le courant magnétisant. Mais il est facile de voir qu'on peut le confondre avec le courant à vide sans erreur notable. A vide en effet, i_0' est décalé de 90° par rapport au courant dû aux pertes dans le fer et par frottement. Or dans les meilleures machines, i_0 n'est pas moindre que 25 p. 100 du courant normal, tandis que les pertes sont au plus de 6 à 7 p. 100. Donc l'erreur sera toujours bien inférieure à 2 ou 3 p. 100.

On peut encore écrire :

$$J_1 = i_0 \sqrt{\frac{1+x^2}{\left(x\sigma - \frac{1}{y}\right)^2 + \left(1 + \frac{x}{y}\right)^2}} = i_0 \sqrt{\frac{1+x^2}{A}}$$

Le tableau IV donne les valeurs du radical pour les grandeurs x, y et σ de la pratique. Ce tableau permet de déterminer facilement les intensités entre la marche à vide et la pleine charge.

Suivant la destination du moteur la valeur de x, à charge normale, varie entre 1,5 et 4. Ce dernier chiffre se rapporte aux grands moteurs à facteur de puissance élevé. Au démarrage, la valeur de x est de 20 à 50 fois plus élevée et par suite varie de 30 à 150. On voit donc que l'on peut négliger l'unité vis-à-vis de x^2. S'il ne

TABLEAU V

Valeurs de $J'' : i_0$.

σ''	$y = 20$		$y = 35$		$y = 50$		$y = 100$		$y = 150$		$\frac{1}{\sigma''}$
	$x'' = 20$	$x'' = 50$	$x'' = 20$	$x'' = 50$	$x'' = 20$	$x'' = 50$	$x'' = 50$	$x'' = 100$	$x'' = 75$	$x'' = 120$	
0,08	7,92	9,49	9,03	10,72	9,49	11,22	11,75	12,12	12,13	12,29	12,5
0,1	7,18	8,24	7,97	9,04	8,25	9,31	9,59	9,81	9,82	9,89	10,0
0,12	6,50	7,23	7,06	7,75	7,25	7,93	8,09	8,22	8,22	8,26	8,34
0,14	5,90	6,43	6,30	6,77	6,44	6,89	6,99	7,07	7,08	7,11	7,14
0,16	5,39	5,76	5,66	6,00	5,63	6,08	6,15	6,20	6,21	6,22	6,25
0,18	4,92	5,21	5,15	5,41	5,20	5,44	5,49	5,52	5,53	5,54	5,55
0,2	4,53	4,77	4,70	4,89	4,75	4,91	4,95	4,98	4,98	4,99	5,00

(1) En effet la similitude des deux triangles donne

$$\frac{\overline{bc}}{\omega_1 L_1 J_1} = \frac{\Phi_2}{v_1 \Phi_1} = \frac{\Phi_1 \sin \varphi_2}{v_2} \frac{}{v_1 \Phi_1} = \left(1 - \sigma\right) \frac{x}{\sqrt{1+x^2}}$$

d'où

$$bc = \omega_1 L_1 J_1 \left(1 - \sigma\right) \frac{x}{\sqrt{1+x^2}}$$

Dans le triangle bcd on a

$$\overline{bd}^2 = \overline{bc}^2 + \overline{cd}^2 + 2\,\overline{bc}\,.\,\overline{bd}\,\cos(\varphi_1 + \varphi_2)$$

Or

$$bd = E_1 ;\ bc = \omega_1 L_1 J_1 \left(1 - \sigma\right) \frac{x}{\sqrt{1+x^2}} ;\ cd = J_1 \sqrt{R_1^2 + \omega_1^2 L_1^2} = \omega_1 L_1 J_1 \sqrt{\frac{1+y^2}{y^2}}$$

$$\cos\left(\varphi_1 + \varphi_2\right) = \cos\varphi_1 \cos\varphi_2 - \sin\varphi_1 \sin\varphi_2 = \frac{1}{\sqrt{1+y^2}} \frac{1}{\sqrt{1+x^2}} - \frac{y}{\sqrt{1+y^2}} \frac{x}{\sqrt{1+y^2}}$$

Tous calculs faits on tombe sur l'expression de J_1.

s'agit que d'évaluer approximativement la valeur du courant de démarrage, on peut négliger $\frac{1}{y}\left(1+\frac{x}{y}\right)^2$ vis-à-vis de $x^2\sigma^2$. Il reste donc pour le courant de démarrage

$$J'' = \frac{i_0}{\sigma''}$$

σ'' désignant le coefficient de dispersion au démarrage. Dans le tableau V les valeurs du radical ont été calculées pour les diverses valeurs de x, y, σ. Ce tableau montre qu'en appliquant cette dernière formule à de tout petits moteurs ($y \leq 50$) ou à des moteurs à très faibles coefficients dedispersion, on commet des erreurs assez notables.

d. *Intensité secondaire.* — Le courant secondaire J_2 est égal à la force électromotrice E_2 divisée par R_2. On trouve :

$$J_2 = g\frac{E_1}{R_2}\frac{N_2}{N_1}\frac{k_2 m_1 q_1}{k_1 m_2 q_1}\frac{1}{\nu_2\sqrt{1+x^2\sigma^2}}.$$

Nous pouvons l'exprimer en fonction du courant primaire. La figure 15 donne en effet :

$$\frac{\nu_2\Phi_2}{\Phi_1}\sin\varphi_2 = \frac{x}{\sqrt{1+x^2}}.$$

Remplaçant Φ_1 et Φ_2 par leurs valeurs en fonction de J_1 et J_2 (égalité 3),

$$J_2 = J_1\frac{k_1 k'_1 N_1 q_2}{k_2 k'_2 N_2 q_1}\frac{x}{c_2\sqrt{1+x^2}} = i_0\frac{k_1 k'_1 N_1 q_2}{k_2 k'_2 N_2 q_1}\nu_2\frac{x}{\sqrt{A}}$$

5. *Couple.* — Le champ tournant se déplace par rapport à l'armature avec une vitesse angulaire $\omega_2 = g\,\omega_1$ et y produit des courants de même fréquence. Nous examinerons d'abord le cas simple où l'armature a pm_2 barres, soit une barre par pôle et par phase. Au moment où la zône neutre du champ tournant fait un angle α avec une barre déterminée (fig. 15), le courant de cette barre a pour valeur :

$$J_{2inst} = \overline{J_2}\sin(\alpha-\varphi_2)$$

Or l'induction en cet endroit a pour valeur :

$$B_{inst} = \overline{B_2}\sin\alpha.$$

Il en résultera un couple dont la valeur sera en kgm.

$$Z'_{inst} = \frac{\overline{J_2}\,\overline{B_2}}{9{,}81}\frac{l\gamma}{10^6}\left(\frac{N_2}{m_2 p q_2}\right)p\sin\alpha\sin(\alpha-\varphi_2).$$

Examinons ensuite le cas où l'enroulement se trouve uniformément réparti sur la périphérie de l'induit. Soit $2\beta = \frac{\pi}{m_2}$ l'arc comprenant l'enroulement d'une phase. Le couple instantané a pour valeur :

$$Z'_{inst} = \frac{\overline{J_2}\,\overline{B_1}\,l\gamma}{9{,}81\,.\,10^6 m_2 q_2}\sin(\alpha-\varphi_2)\int_{\alpha-\beta}^{\alpha+\beta}\sin\frac{\pi p}{N_2}x\,dx$$

$$= \frac{\overline{J_2}\,\overline{B_2}\,l\gamma N_2}{9{,}81\,.\,10^6 m_2 q_2}\left(\frac{2m}{\pi}\sin\frac{\pi}{2m}\right)\sin\alpha\sin(\alpha-\varphi_2).$$

On voit que la parenthèse a pour valeur $\frac{K_2}{2}$ (tableau III). D'une façon générale le couple produit par une phase a pour valeur :

$$Z'_{inst} = \frac{K_2}{2}\frac{\overline{J_2}\,\overline{B_2}\,l\gamma N_2}{9{,}81\,.\,10^6 m_2 q_2}\sin\alpha\sin(\alpha-\varphi_2).$$

Si on intègre pendant une demi-période et si on multiplie par m_2, on obtient le couple total de l'induit.

$$Z = \frac{K_2}{2}\frac{\overline{J_2}\,\overline{B_2}\,N_2 l\gamma}{9{,}81\,.\,10^6 q_2}\cos\varphi_2 \text{ en kgm.}$$

On arrive à la même expression en additionnant les couples instantanés d'un nombre quelconque de phases, faisant entre elles un angle $\frac{2\pi}{pm_2}$.

On en conclut que le couple d'un moteur asynchrone polyphasé reste constant pendant une période, tandis qu'avec un enroulement monophasé, il varie de 0 à un maximum.

La formule qui donne Z dépend des trois variables J_2, B_2, $\cos\varphi_2$, qui sont reliées par des relations. De plus Z représente le couple total. Si on désigne par $100\,z$ la valeur pour cent du couple nécessaire à vaincre les résistances passives, il reste pour le couple utile

$$Z = \frac{Ei_0}{\omega_1}m_1 p(1-z)\frac{100}{D\,.\,9{,}81}\frac{(1-\sigma)x}{\left(x\sigma-\frac{1}{y}\right)^2+\left(1+\frac{x}{y}\right)^2} \quad (^1)$$

(1) En effet, on a

$$\overline{J_2} = \sqrt{2}\,i_0\frac{k_1 k'_1 q_2 N_1}{k_2 k'_2 q_1 N_2}\frac{x}{\nu_2\sqrt{\left(x\sigma-\frac{1}{y}\right)^2+\left(1+\frac{x}{y}\right)^2}}$$

Tableau VI. — Valeurs d

$x =$		0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6
$y = 20$	$\sigma = 0,06$	0,184	0,362	0,532	0.696	0,853	1,000	1,150	1,290	1,415	1,548	1,674	1,792	1,9[illegible]
	$\sigma = 0,08$	0,180	0,354	0,521	0,680	0,835	0,952	1,120	1,258	1,380	1,505	1,616	1,738	1.8[illegible]
	$\sigma = 0,10$	0,1725	0,346	0,510	0,665	0,814	0,930	1,090	1,225	1,340	1,460	1,570	1,680	1.7[illegible]
	$\sigma = 0,12$	0,1765	0,338	0,498	0,650	0,795	0.906	1,062	1,185	1,300	1,410	1,515	1,610	1,7[illegible]
	$\sigma = 0,14$	0,168	0,330	0,478	0,635	0,775	0,885	1,032	1,150	1,260	1,360	1,460	1,550	1.6[illegible]
$y = 35$	$\sigma = 0,06$	0.186	0,368	0,546	0,720	0,887	1,050	1,210	1,361	1,512	1,658	1,[illegible]	1.945	2.0[illegible]
	$\sigma = 0,08$	0,182	0,360	0,534	0,702	0,868	1,027	1,181	1,328	1,470	1,615	1,754	1,886	2.0[illegible]
	$\sigma = 0,10$	0,178	0,352	0,522	0,686	0,848	1,010	1,150	1,298	1,434	1,570	1,700	1,825	1.9[illegible]
	$\sigma = 0,12$	0,174	0,344	0,510	0,672	0,826	0,972	1,115	1,252	1,384	1,514	1,634	1,740	1,8[illegible]
	$\sigma = 0,14$	0,170	0,335	0,496	0,652	0,8[illegible]1	0,944	1,074	1,206	1,332	1,451	1,560	1,660	1.7[illegible]
$y = 50$	$\sigma = 0,06$	0,180	0,371	0,552	0,728	0,903	1,075	1,241	1,409	1,571	1.725	1,875	2.045	2,20[illegible]
	$\sigma = 0,08$	0,182	0,362	0,540	0,711	0,882	1,045	1,210	1,370	1,525	1,674	1,820	1,970	2,1[illegible]
	$\sigma = 0,10$	0,178	0,354	0,526	0.695	0,863	1,020	1,175	1,330	1,480	1,620	1,750	1,900	2,0[illegible]
	$\sigma = 0,12$	0,174	0,345	0,513	0.679	0,837	0,990	1,140	1,286	1,425	1,560	1.680	1,820	1.9[illegible]
	$\sigma = 0,14$	0,170	0,338	0,502	0,660	0,815	0,912	1,110	1,246	1,375	1,500	1,610	1,730	1,8[illegible]
$y = 100$	$\sigma = 0,06$	0,187	0,373	0,557	0,740	0,917	1,090	1,270	1,445	1,620	1,780	1,950	2,120	2,2[illegible]
	$\sigma = 0,08$	0,183	0,365	0,545	0,721	0,896	1,071	1,240	1,410	1,570	1,725	1,885	2,040	2,1[illegible]
	$\sigma = 0,10$	0,179	0,356	0,533	0,705	0,875	1,045	1,205	1,365	1,520	1,675	1,820	1,960	2,0[illegible]
	$\sigma = 0,12$	0,175	0,348	0,520	0,688	0,851	1,015	1,170	1,320	1,470	1,610	1,746	1,874	2,0[illegible]
	$\sigma = 0,14$	0,171	0,340	0,506	0,670	0,827	0,981	1,130	1,276	1,415	1,540	1,670	1,790	1,9[illegible]
$y = \infty$	$\sigma = 0,06$	0,188	0,376	0,564	0,752	0,939	1,121	1,310	1,490	1,677	1,854	2,040	2,210	2.3[illegible]
	$\sigma = 0,08$	0,184	0,368	0,551	0,734	0,915	1,096	1,270	1,450	1,625	1,798	1,965	2,130	2,2[illegible]
	$\sigma = 0,10$	0,180	0.359	0,538	0,746	0.891	1,064	1,238	1,405	1,570	1,732	1,890	2,042	2.1[illegible]
	$\sigma = 0,12$	0,176	0,352	0,526	0,69[illegible]	0,868	1,036	1,200	1.360	1,516	1,664	1.810	1,950	2,0[illegible]
	$\sigma = 0,14$	0,172	0,343	0,513	0,682	0,845	1,003	1,160	1,312	1,458	1,597	1,727	1.860	1.9[illegible]

Le tableau VI donne les valeurs de l'expression

$$\frac{x\,(1-\sigma)}{\left(x\sigma - \frac{1}{y}\right)^2 + \left(1 + \frac{x}{y}\right)^2} = \text{A}.$$

Dans beaucoup de cas, il est plus commode de calculer l'intensité utile que le couple ; multipliant les 2 membres par la vitesse périphérique

$$\frac{\text{D}\pi}{100}\,\frac{n}{60}\,(1-g) = \frac{\text{D}}{100}\,\frac{\omega_1}{p}\,(1-g),$$

par 9,81 et par $\text{E}_1 m_1$, il vient

$$\text{I}_1 = i_0\,(1-z)\,(1-g)\,\frac{(1-\sigma)\,x}{\text{A}} \text{ (Voir tableau VII).}$$

Le couple, ou ce qui revient au même, le courant utile I, passe par un maximum lorsque x augmente, après quoi le moteur cale. Ce point critique dépend du coefficient de dispersion et varie de 9 à 20. Pour assurer la stabilité du moteur en cas de surcharge, il faut se tenir bien en deçà de cette limite. La valeur normale de x

---

$$\text{B}_s = \frac{k k'_1 \text{N}_1 \overline{\text{J}_1}}{p q_1 \delta\alpha} = \sqrt{2}\,\frac{k k' \text{N}_1}{p q_1 \delta\alpha}\, i_0 \sqrt{\frac{1 + x^2}{\left(x\sigma - \frac{1}{y}\right)^2 + \left(1 + \frac{x}{y}\right)^2}}$$

Portant dans la valeur de z et multipliant haut et bas par $\frac{100\, m_1 p}{k_1 \text{D}\pi}$, il vient

$$\text{Z} = i_0^2 \left(\frac{\text{K}_1 k_1 k'_1 \gamma}{2 \cdot 10^8}\,\frac{\text{N}_1^2}{m_1 p_1^2 q_1^2}\,\frac{\text{D}l}{\delta\alpha}\right) \frac{m_1}{v_2}\,\frac{p \text{K}_2 k_1 k'_1}{\text{K}_1 k_2 k'_2} \cdot \frac{100}{\text{D} \cdot 9{,}81}\,\frac{x}{\left(x\sigma - \frac{1}{y}\right)^2 + \left(1 + \frac{x}{y}\right)^2}$$

Dans la parenthèse on reconnaît $\frac{\text{L}_1}{v_1} = \frac{1}{v_1}\,\frac{\text{E}_1}{\omega_1 i_0}$. De plus $\frac{\text{K}_2 k_1 k'_1}{\text{K}_1 k_2 k'_2} = 1$ quelque soit l'enroulement. On tombe ainsi sur l'expression de Z.

$$\frac{(1-\sigma)\,x}{\sigma-\frac{1}{y}\Big)^2+\Big(1+\frac{x}{y}\Big)^2}.$$

2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4	5	6	7	8	10	12	14	16
1,000	2,105	2,200	2,290	2,380	2,460	2,550	2,996	3,160	3,455	3,510	3,685	3,750	3,740	3,700
1,932	2,032	2,116	1,200	2,280	2,350	2,430	2,732	2,944	3,095	3,190	3,270	3,260	3,190	3,090
1,860	1,050	2,025	2,105	2,180	2,240	2,290	2,554	2,710	2,810	2,850	2,850	2,800	2,670	2,560
1,780	1,860	1,930	2,000	2,060	2,110	2,160	2,362	2,470	2,520	2,585	2,480	2,280	2,210	2,090
1,700	1,750	1,830	1,890	1,930	1,975	2,020	2,170	2,230	2,242	2,220	2,110	1,980	1,840	1,710
1,215	2,340	2,465	2,600	2,705	2,820	2,930	3,390	3,820	4,130	4,390	4,740	4,940	5,020	5,020
1,124	2,250	2,360	2,486	2,590	2,670	2,770	3,175	3,510	3,740	3,910	4,090	4,130	4,020	3,925
1,045	2,157	2,260	2,357	2,441	2,523	2,616	2,940	3,186	3,330	3,426	3,465	3,402	3,280	3,150
1,957	2,050	2,205	2,220	2,300	2,370	2,445	2,697	2,852	2,930	2,960	2,910	2,789	2,590	2,430
1,850	1,940	2,010	2,080	2,140	2,200	2,260	2,445	2,540	2,523	2,580	2,435	2,280	2,080	1,940
1,310	2,455	2,590	2,720	2,850	2,980	3,095	3,650	4,140	4,500	4,840	5,290	5,670	5,690	5,740
1,225	2,350	2,480	2,575	2,750	2,820	2,930	3,397	3,772	4,050	4,260	4,500	4,570	4,540	4,420
1,130	2,250	2,360	2,460	2,560	2,650	2,750	3,125	3,410	3,580	3,690	3,744	3,690	3,550	3,400
1,020	2,125	2,220	2,310	2,400	2,480	2,550	2,845	3,035	3,125	3,160	3,110	2,970	2,820	2,630
1,920	2,010	2,090	2,160	2,235	2,300	2,350	2,570	2,683	2,710	2,690	2,570	2,410	2,220	2,060
1,440	2,580	2,740	2,880	3,040	3,180	3,300	3,965	4,540	5,030	5,410	6,030	6,430	6,630	6,700
1,330	2,475	2,610	2,750	2,880	3,010	3,120	3,670	4,120	4,460	4,680	5,020	5,120	5,100	5,000
1,230	2,360	2,475	2,590	2,710	2,820	2,920	3,360	3,680	3,900	4,020	4,100	4,050	3,900	3,700
1,120	2,230	2,340	2,440	2,520	2,620	2,700	3,040	3,250	3,363	3,400	3,350	3,210	3,010	2,830
1,000	2,100	2,190	2,280	2,350	2,420	2,480	2,730	2,850	2,892	2,880	2,735	2,560	2,360	2,180
1,560	2,740	2,906	3,060	3,230	3,402	3,550	4,320	5,000	5,600	6,120	6,910	7,440	7,710	7,820
1,445	2,610	2,760	2,910	3,055	3,210	3,340	3,970	4,490	4,920	5,210	5,620	5,750	5,710	5,580
1,340	2,476	2,610	2,746	2,870	2,990	3,097	3,600	3,970	4,230	4,392	4,500	4,428	4,260	4,050
1,210	2,340	2,450	2,565	2,670	2,765	2,860	3,230	3,470	3,610	3,660	3,930	3,432	3,230	3,010
1,090	2,195	2,290	2,380	2,465	2,550	2,620	2,883	3,025	3,070	3,050	2,900	2,700	2,480	2,290

variera donc de 1,5 à 4, d'après la grandeur du moteur. Pour les charges comprises entre la marche à vide et la charge normale, la quantité A ne s'éloigne pas trop de l'unité, comme le montre le tableau VII, de sorte que l'on peut admettre approximativement que le couple est proportionnel à x, et par suite au glissement. Il en résulte que le moteur pourra toujours développer un couple quelconque inférieur au couple maximum.

Ainsi donc nous pouvons choisir arbitrairement i_0 ou x, mais seulement en ce qui concerne le couple, et avec certaines restrictions. Mais il faut que le moteur ait un décalage aussi faible que possible, et cela n'est possible que lorsque le courant à vide est petit par rapport an courant normal.

6. *Facteur de puissance* ($\cos\varphi$). — Si le courant est sinusoïdal, le facteur de puissance est le rapport du courant watté I_w au courant total J_1.

Désignons par 100 ε la perte p, 100 dans le cuivre primaire ;

Désignons par 100 ε' la perte p. 100 dans le fer;

Désignons par 100 g la perte p. 100 dans le cuivre secondaire;

Désignons par 100 z la perte p. 100 par frottements.

On trouve [1] :

---

[1] En effet, le courant watté a pour valeur

$$I_w=\frac{I}{(1-\varepsilon)(1-\varepsilon')(1-g)(1-z)}=\frac{i_0}{(1-\varepsilon)(1-\varepsilon')}\left[\frac{(1-\sigma)x}{\Big(x\sigma-\frac{1}{y}\Big)^2+\Big(1+\frac{x}{y}\Big)^2}\right]$$

D'autre part $J_1=i_0\sqrt{\dfrac{1+x^2}{\Big(x\sigma-\frac{1}{y}\Big)^2+\Big(1-\frac{x}{y}\Big)^2}}$

En formant le rapport $\frac{I_w}{J_1}$ on trouve la valeur de $\cos\varphi$. Dans cette formule, nous commettons une petite

TABLEAU VII. — Valeurs de A =

$x =$		0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6
$y = 20$	$\sigma = 0,06$	1,021	1,040	1,060	1,082	1,102	1,124	1,145	1,166	1,193	1,215	1,236	1,258	1,286
	$\sigma = 0,08$	1,021	1,040	1,060	1,082	1,102	1,126	1,148	1,170	1,198	1,222	1,251	1,271	1,300
	$\sigma = 0,10$	1,021	1,040	1,060	1,083	1,104	1,125	1,152	1,176	1,201	1,227	1,256	1,286	1,31[illegible]
	$\sigma = 0,12$	1,020	1,040	1,060	1,084	1,107	1,133	1,158	1,185	1,217	1,246	1,275	1,306	1,33[illegible]
	$\sigma = 0,14$	1,020	1,040	1,060	1,086	1,110	1,138	1,165	1,194	1,231	1,263	1,296	1,332	1,37[illegible]
$y = 35$	$\sigma = 0,06$	1,010	1,022	1,034	1,047	1,060	1,075	1,090	1,105	1,120	1,134	1,148	1,161	1,17[illegible]
	$\sigma = 0,08$	1,010	1,022	1,034	1,048	1,060	1,076	1,091	1,107	1,125	1,140	1,156	1,172	1,19[illegible]
	$\sigma = 0,10$	1,010	1,022	1,035	1,049	1,063	1,077	1,094	1,111	1,130	1,146	1,166	1,185	1,20[illegible]
	$\sigma = 0,12$	1,010	1,023	1,037	1,051	1,067	1,086	1,105	1.125	1,145	1,163	1,186	1,215	1,24[illegible]
	$\sigma = 0,14$	1,010	1,025	1,040	1,055	1,072	1,095	1,121	1,140	1,162	1,184	1,213	1,242	1,27[illegible]
$y = 50$	$\sigma = 0,06$	1,008	1,016	1,024	1,032	1,042	1,051	1.061	1,068	1,077	1,090	1,102	1,105	1,11[illegible]
	$\sigma = 0,08$	1,008	1,016	1,024	1,034	1,044	1,054	1,065	1,073	1,085	1,099	1,112	1,119	1,12[illegible]
	$\sigma = 0,10$	1,008	1,016	1,025	1,036	1,046	1,058	1,071	1,081	1,095	1,112	1,130	1,138	1,1[illegible]
	$\sigma = 0,12$	1,008	1,016	1,027	1,038	1,050	1,063	1,079	1,091	1,108	1,128	1,149	1,162	1,17[illegible]
	$\sigma = 0,14$	1,008	1,017	1,028	1,040	1,054	1,070	1,088	1,103	1,123	1,147	1,173	1,190	1,21[illegible]
$y = 100$	$\sigma = 0,06$	1,004	1,008	1,012	1,017	1,022	1,028	1,034	1,039	1,045	1,052	1,058	1,066	1,07[illegible]
	$\sigma = 0,08$	1,004	1,008	1,013	1,019	1,025	1,031	1.038	1,045	1,054	1,067	1,071	1.081	1,09[illegible]
	$\sigma = 0,10$	1,004	1,009	1,014	1,021	1,028	1,036	1,045	1,054	1,064	1,076	1,088	1,101	1,11[illegible]
	$\sigma = 0,12$	1,004	1,009	1,015	1,023	1,032	1,042	1,053	1,065	1,078	1,093	1,108	1,125	1,1[illegible]
	$\sigma = 0,14$	1,004	1,010	1,017	1,026	1,037	1,049	1,063	1.077	1,094	1,113	1,133	1,154	1,17[illegible]
$y = \infty$	$\sigma = 0,06$	1,000	1,000	1,001	1,002	1,001	1,005	1,007	1,009	1,012	1,014	1,017	1,020	1,02[illegible]
	$\sigma = 0,08$	1,000	1,001	1,002	1,004	1,006	1,009	1,013	1,016	1,021	1,026	1,031	1,037	1,0[illegible]
	$\sigma = 0,10$	1,000	1,002	1,004	1,006	1,010	1,014	1,019	1,025	1,031	1,040	1,048	1,058	1,06[illegible]
	$\sigma = 0,12$	1,000	1,002	1,005	1,009	1.014	1,021	1,028	1,036	1,046	1,058	1,069	1,083	1,09[illegible]
	$\sigma = 0,14$	1,000	1,003	1,017	1,012	1,019	1,028	1,038	1,050	1,063	1,078	1,095	1,112	1,13[illegible]

TABLEAU VIII. — Valeurs de (1 — ε) (1 —

$x =$		0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6
$y = 20$	$\sigma = 0,06$	0,182	0,341	0,469	0,564	0,634	0,681	0,714	0,739	0,752	0,763	0,770	0,772	0,77[illegible]
	$\sigma = 0,08$	0,177	0,333	0,459	0,552	0,620	0,666	0,697	0,721	0,733	0,744	0,749	0,753	0,75[illegible]
	$\sigma = 0,10$	0,174	0,326	0,449	0,540	0,605	0,650	0,681	0,704	0,717	0,726	0,732	0,733	0,73[illegible]
	$\sigma = 0,12$	0,169	0,318	0,440	0,528	0,591	0,634	0,665	0,686	0,699	0,705	0,709	0,709	0,70[illegible]
	$\sigma = 0,14$	0,165	0,311	0,429	0,516	0,577	0,619	0,648	0,667	0,678	0,685	0,688	0,688	0,68[illegible]
$y = 35$	$\sigma = 0,06$	0,184	0,345	0,475	0,572	0,646	0,695	0,731	0,760	0,775	0,790	0,800	0,806	0,80[illegible]
	$\sigma = 0,08$	0,180	0,338	0,465	0,561	0,631	0,680	0,716	0,743	0,758	0,770	0,780	0,783	0,78[illegible]
	$\sigma = 0,10$	0,175	0,331	0.455	0,549	0,616	0,666	0,698	0,725	0,738	0,752	0,760	0,763	0,76[illegible]
	$\sigma = 0,12$	0,172	0,323	0,445	0,537	0,602	0,648	0,682	0,705	0,719	0,730	0,736	0,737	0,73[illegible]
	$\sigma = 0,14$	0,168	0,316	0,434	0,522	0,588	0,631	0,659	0,682	0,696	0,708	0,712	0,713	0,71[illegible]
$y = 50$	$\sigma = 0,06$	0,184	0,347	0,476	0,578	0,651	0,704	0,742	0,773	0,791	0,805	0,817	0,826	0,83[illegible]
	$\sigma = 0,08$	0,180	0,340	0,466	0,566	0,637	0,688	0,725	0,753	0,772	0,785	0,792	0,803	0,80[illegible]
	$\sigma = 0,10$	0,176	0,332	0,456	0,553	0,623	0,672	0,707	0,735	0,753	0,764	0,772	0,778	0,78[illegible]
	$\sigma = 0,12$	0,172	0,325	0,445	0,540	0,608	0,655	0,689	0,714	0,731	0,741	0,748	0,754	0,75[illegible]
	$\sigma = 0,14$	0,169	0,317	0,435	0,526	0,594	0,638	0,670	0,685	0,710	0,719	0,723	0,728	0,73[illegible]
$y = 100$	$\sigma = 0,06$	0,184	0,348	0,481	0,582	0,657	0,712	0.751	0,783	0,804	0,820	0,833	0,842	0,84[illegible]
	$\sigma = 0,08$	0,180	0,341	0,471	0,568	0,643	0,696	0.735	0,764	0,784	0,800	0,810	0,817	0,82[illegible]
	$\sigma = 0,10$	0,176	0,333	0,460	0,556	0,628	0,680	0,716	0,743	0,761	0,775	0,785	0,791	0,79[illegible]
	$\sigma = 0,12$	0,172	0,326	0,450	0,543	0,613	0,662	0,697	0,722	0,740	0,754	0,763	0,765	0,76[illegible]
	$\sigma = 0,14$	0,169	0,318	0,440	0,530	0,598	0,645	0,678	0,704	0,719	0,728	0,736	0,739	0,74[illegible]
$y = \infty$	$\sigma = 0,06$	0,184	0,349	0,484	0,588	0,664	0,719	0,761	0,794	0,815	0,836	0,850	0,860	0,86[illegible]
	$\sigma = 0,08$	0,180	0,342	0,473	0,574	0,648	0,702	0,743	0,775	0,794	0,814	0,825	0,835	0,84[illegible]
	$\sigma = 0,10$	0,176	0,334	0,462	0,560	0,634	0,687	0,723	0,753	0,773	0,790	0,800	0,808	0,81[illegible]
	$\sigma = 0,12$	0,172	0,326	0,452	0,548	0,618	0,668	0,705	0,734	0,750	0,766	0,776	0,781	0,78[illegible]
	$\sigma = 0,14$	0,168	0,319	0,440	0,535	0,602	0,650	0,685	0,712	0,728	0,741	0,750	0,753	0,75[illegible]

$\ldots\sigma - \frac{1}{y}\Big)^2 + \Big(1 + \frac{x}{y}\Big)^2.$

2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	5	6	7	8	10	12	14	16
,313	1,339	1,365	1,392	1,420	1,447	1,476	1,622	1,786	1,957	2,145	2,5525	3,039	3,5141	4,068
,330	1,356	1,388	1,418	1,449	1,480	1,512	1,682	1,875	2,080	2,308	2,8125	3,388	4,034	4,572
,348	1,385	1,418	1,453	1,488	1,525	1,568	1,762	1,992	2,242	2,5225	3,1525	4,000	4,712	5,642
,381	1,418	1,457	1,497	1,538	1,580	1,624	1,862	2,139	2,444	2,788	3,5725	4,6336	5,546	6,736
,417	1,459	1,504	1,550	1,598	1,648	1,700	1,982	2,314	2,685	3,105	4,0725	5,2169	6,538	8,036
,190	1,203	1,219	1,231	1,252	1,270	1,285	1,383	1,479	1,594	1,712	1,980	2,283	2,620	2,990
,214	1,225	1,245	1,259	1,280	1,310	1,330	1,450	1,572	1,723	1,882	2,248	2,672	3,205	3,750
,229	1,252	1,274	1,300	1,326	1,353	1,378	1,532	1,699	1,890	2,103	2,596	3,177	3,840	4,580
,260	2,290	1,315	1,345	1,380	1,410	1,440	1,636	1,849	2,102	2,376	3,025	3,800	4,770	5,800
,300	1,330	1,370	1,403	1,450	1,485	1,520	1,760	2,029	2,385	2,669	3,533	4,532	5,790	7,120
,136	1,149	1,161	1,174	1,187	1,200	1,214	1,288	1,365	1,460	1,558	1,776	2,027	2,310	2,626
,156	1,172	1,187	1,204	1,221	1,238	1,256	1,354	1,462	1,592	1,730	2,048	2,421	2,848	3,330
,182	1,202	1,222	1,243	1,264	1,287	1,310	1,440	1,586	1,762	1,954	2,400	2,930	3,542	4,238
,215	1,239	1,264	1,291	1,318	1,347	1,378	1,546	1,740	1,972	2,229	2,832	3,554	4,394	5,352
,253	1,283	1,315	1,348	1,383	1,420	1,458	1,672	1,922	2,222	2,555	3,344	4,293	5,402	6,670
1,081	1,089	1,098	1,106	1,115	1,124	1,134	1,184	1,242	1,308	1,387	1,558	1,7585	1,988	2,248
1,105	1,113	1,125	1,137	1,150	1,163	1,178	1,252	1,341	1,442	1,563	1,834	2,157	2,531	2,958
1,129	1,145	1,161	1,178	1,195	1,214	1,233	1,340	1,468	1,616	1,790	2,190	2,670	3,231	3,873
1,162	1,183	1,204	1,227	1,251	1,276	1,302	1,448	1,624	1,829	2,069	2,626	3,2993	4,088	4,993
1,203	1,229	1,256	1,286	1,317	1,350	1,384	1,576	1,809	2,081	2,398	3,142	4,0433	5,102	6,318
1,028	1,032	1,037	1,042	1,047	1,052	1,058	1,090	1,130	1,176	1,230	1,360	1,5184	1,707	1,921
1,050	1,058	1,066	1,074	1,083	1;092	1,102	1,160	1,230	1,310	1,409	1,640	1,9216	2,254	2,640
1,078	1,090	1,102	1,116	1,129	1,144	1,161	1,250	1,360	1,490	1,640	2,000	2,440	2,960	3,560
1,113	1,129	1,148	1,166	1,187	1,208	1,230	1,360	1,520	1,706	1,921	2,440	3,0736	3,820	4,680
1,154	1,176	1,202	1,226	1,255	1,283	1,313	1,490	1,705	1,960	2,254	2,960	3,8224	4,840	6,010

$\ldots\varphi = (1 - \sigma)\sqrt{\frac{x^2}{1 + x^2}\,\frac{1}{\Big(x\sigma - \frac{1}{y}\Big)^2 + \Big(1 + \frac{x}{y}\Big)^2}}$

2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	5	6	7	8	10	12	14	16
0,772	0,771	0,768	0,765	0,762	0,757	0,752	0,724	0,695	0,666	0,637	0,586	0,542	0,500	0,466
0,752	0,749	0,744	0,742	0,737	0,732	0,726	0,695	0,662	0,632	0,601	0,545	0,500	0,440	0,422
0,729	0,725	0,720	0,715	0,710	0,705	0,700	0,664	0,630	0,586	0,5625	0,504	0,448	0,415	0,380
0,707	0,702	0,699	0,690	0.685	0,678	0,670	0,632	0,595	0,558	0,523	0,463	0,407	0,374	0,339
0,680	0,676	0,670	0.663	0,657	0,647	0,641	0,600	0,558	0,520	0,473	0,424	0,374	0,337	0,304
0,812	0,813	0,814	0,812	0,810	0,805	0,804	0,785	0,762	0,738	0,718	0,667	0,622	0,579	0,541
0,788	0,789	0,788	0,787	0,785	0,778	0,775	0,750	0,724	0,692	0,667	0,605	0,560	0,512	0,473
0,765	0,763	0,761	0,757	0,753	0,748	0,744	0,712	0,682	0,649	0,616	0,557	0.505	0,456	0,418
0,739	0,737	0,732	0,730	0,723	0,715	0,712	0,675	0,638	0,602	0,568	0,501	0,448	0,402	0,365
0,711	0,709	0,702	0,696	0,688	0,681	0,679	0,636	0,595	0,552	0,523	0,456	0,403	0,356	0,321
0,832	0,831	0,031	0,831	0,831	0,830	0,828	0,812	0,792	0,770	0,748	0,703	0,659	0,618	0,580
0,806	0,805	0,805	0,805	0,803	0,799	0,797	0,775	0,750	0,722	0,694	0,640	0,591	0,545	0,504
0,780	0,779	0,776	0,774	0,770	0,767	0,764	0,736	0,706	0,671	0,640	0,578	0,525	0,478	0,437
0,754	0,750	0,748	0,743	0,740	0,734	0,729	0,694	0,658	0,621	0,589	0,520	0,466	0,420	0,380
0,724	0,720	0,715	0,710	0,705	0,700	0,693	0,652	0,612	0,571	0,534	0,469	0,415	0,370	0,333
0,853	0,856	0,857	0,858	0,859	0,858	0,856	0,846	0,832	0,814	0,792	0,750	0,707	0,666	0,627
0,826	0,828	0,828	0,827	0,826	0,825	0,823	0,809	0,784	0,760	0,730	0,676	0,625	0,577	0,535
0,797	0,798	0,797	0,795	0,793	0,790	0,787	0,761	0,733	0,702	0,678	0,605	0,551	0,501	0,457
0,769	0,768	0,765	0,761	0,758	0,752	0,748	0,718	0,681	0,645	0,609	0,540	0,483	0,435	0,394
0,739	0,737	0,736	0,728	0,723	0,717	0,710	0,673	0,631	0,591	0,550	0,482	0,427	0,381	0,343
0,873	0,879	0,881	0,882	0,884	0,886	0,887	0,883	0,872	0,860	0,839	0,802	0,762	0,715	0,677
0,845	0,848	0,850	0,851	0,851	0,851	0,850	0,835	0,819	0,796	0,760	0,712	0,663	0,611	0,563
0,817	0,818	0,818	0,818	0,817	0,814	0,810	0,789	0,761	0,731	0,691	0,932	0,576	0,522	0,474
0,785	0,785	0,784	0,781	0,778	0,774	0,770	0,740	0,706	0,667	0,623	0,560	0,502	0,447	0,406
0,754	0,752	0,749	0,745	0,749	0,734	0,728	0,690	0,650	0,609	0,565	0,497	0.440	0,389	0,348

$$\cos\varphi = \frac{1}{(1-\varepsilon)(1-\varepsilon')}\sqrt{\frac{x^2}{(1+x^2)}\,\frac{(1-\sigma)^2}{\left(2\sigma-\frac{1}{y}\right)+\left(1+\frac{x}{y}\right)^2}}$$

(Voir tableaux VIII) (2)

E. B.

(*A suivre.*)

---

erreur car nous avons tenu compte des pertes dans le fer pour le courant watté, mais non pour le courant J_1. Remarquons que le courant additionnel, destiné à compenser les pertes dans le fer a sensiblement la même direction que I_w, mais fait un angle assez grand avec J_1. L'erreur est par suite faible.

(2) Premier exemple. — Quel sera le cos φ d'un moteur pour lequel on a

$$\frac{i_0}{I} = 0{,}6 \quad \sigma = 0{,}1 \quad \zeta = 0{,}88 \quad 1 - z = 0{,}95;\ 1 - g = 0{,}97;\ 1 - \varepsilon = 0{,}97;\ 1 - \varepsilon' = 0{,}98.$$

Déterminons d'abord x à l'aide du tableau VI

$$\frac{(1-\sigma)x}{A} = \frac{I}{i_0(1-z)(1-g)}\,\frac{1}{0{,}6.0{,}95.0{,}97} = 1{,}81.$$

Pour déterminer y_1 nous prendrons approximativement $\cos\varphi = 0{,}8$. Donc

$$y = \frac{J_1}{i_0\varepsilon} = \frac{I}{i_0\cos\varphi\,\zeta.\varepsilon} = \frac{1}{0{,}6.0{,}8.0{,}88.0{,}03} = 79$$

chiffre plus voisin de 100 que de 50. Nous chercherons dans le tableau VI à $y = 100$ et $\frac{(1-\sigma)x}{A} = 1{,}81$ la valeur de x, et nous trouvons $x = 2{,}2$.

Le tableau VIII nous donne alors

$$(1-\sigma)\sqrt{\frac{x^2}{(1+x^2)A}} = 0{,}785$$

d'où

$$\cos\varphi = \frac{0{,}785}{0{,}97.0{,}98} = 0{,}825.$$

Ce calcul approximatif suffit, car le calcul exact donne $\cos\varphi = 0{,}818$.

Exemple 2. — Trouver, pour un moteur donné, le rapport du courant à vide au courant utile de telle sorte que $\cos\varphi = 0{,}85$.

Supposons $1-\varepsilon = 1-\varepsilon' = 1-g = 0{,}96 \quad 1-g = 0{,}94 \quad \zeta = 0{,}832 \quad \sigma = 0{,}08$.

La marche du calcul est ici inverse. Déterminons approximativement y en nous aidant du tableau IX. Pour $\cos\varphi = 0{,}84$ et $\zeta = 0{,}832$ on a

$$\frac{i_0}{J_1} = 0{,}39 \text{ environ.}$$

Donc

$$y = \frac{1}{0{,}39.0{,}04} = 64, \quad 50 \text{ en chiffres ronds.}$$

Or on a

$$(1-\varepsilon)(1-\varepsilon')\cos\varphi = (1-\sigma)\sqrt{\frac{x^2}{(1+x^2)A}} = 0{,}96.0{,}96.0{,}84 = 0{,}774.$$

Le tableau VIII nous donne

$$x = 1{,}8$$

ensuite le tableau VI nous donne

$$\frac{(1-\sigma)x}{A} = 1{,}525$$

Donc

$$\frac{i_0}{I} = \frac{A}{(1-\sigma)x}\,\frac{1}{(1-z)(1-g)} = \frac{1}{1{,}525.0{,}99.0{,}96} = 0{,}727.$$

DÉCHARGE ÉLECTRIQUE

Sur la conductibilité des poudres comprimées, par **F. Streintz**, *Drude's Annalen*, t. III, p. 1-20, septembre 1900.

La résistance d'une colonne de poudre dépend beaucoup de la pression avec laquelle les électrodes métalliques sont appliquées contre la poudre. Pour obtenir des conditions comparables, Streintz comprime la poudre dans un cylindre en ébonite, entre deux tiges d'acier garnies de platine à leur extrémité et qui servent d'électrodes : il mesure la résistance de la colonne de poudre entre deux électrodes parasites, placées dans la partie centrale du cylindre et distantes de 1 cm. La mesure est effectuée à la température ordinaire, puis dans un mélange d'acide carbonique et d'éther.

Mousse de platine. — Densité 11,6. La résistance spécifique est :

$$r = 0{,}92\,(1 + 0{,}00145\,t)$$

celle du platine massif est 0,14 à 0° et le coefficient de température, 0,004.

Charbons. — 1° Charbon amorphe, obtenu en lavant du noir de fumée à l'éther et à l'alcool, jusqu'à ce que le liquide restât clair, puis en calcinant dans un courant d'hydrogène. La densité de ce charbon, comprimé dans le cylindre, était 1,50, à peu près celle du charbon de bois solide.

La résistance de ce charbon varie avec le temps, quand la température a été modifiee. A la température ordinaire, la résistance spécifique est d'environ 40 000 ohms ; à — 77°, elle est près du double. Le charbon amorphe se

rapproche donc des électrolytes, tant par le signe de la variation de sa résistance avec la température que par l'ordre de grandeur du coefficient de variation.

2° *Graphite*, préparé par de Haën comme chimiquement pur : densité 3 (?). La résistance varie avec le temps, puis il semble se produire un état stationnaire. La résistance spécifique est alors de 21,9 ohms.

Le coefficient de température est d'environ — 0,0013. Le graphite au point de vue de la résistance électrique se rapproche donc plus des métaux que le charbon amorphe. Il est possible que la résistance du charbon diminue beaucoup quand on élève la température, à cause de la chaleur de polymérisation. M. L.

Réflexion des rayons cathodiques**, par H. Starke,** *Drude's Ann.*, t. III, p. 75-101, septembre 1900.

L'auteur a démontré précédemment [1] que les rayons cathodiques subissent sur les substances solides une réflexion diffuse et que les rayons ainsi diffusés emportent avec eux des charges électriques. Il a déterminé par une méthode indirecte le coefficient de réflexion, mais dans des conditions défavorables. Dans le présent mémoire, il décrit de nouvelles expériences, faites par une méthode directe et où les causes d'erreur sont éliminées dans la mesure du possible.

Les rayons émanés de la cathode *c* traversent le diaphragme *d* et tombent sur le réflecteur *r*. Ce réflecteur est à l'intérieur d'un double cylindre métallique : le cylindre extérieur est relié au sol et sert d'écran électrique ; le cylindre intérieur reçoit les charges électriques diffusées par le réflecteur. La tige du réflecteur, guidée par les ouvertures pratiquées dans le fond des deux cylindres, porte un cylindre de fer doux *f* ; en faisant agir sur ce fer une petite bobine placée à l'extérieur du tube, on peut déplacer à volonté le réflecteur : une échelle collée à l'extérieur du tube permet de repérer la position du réflecteur.

Les communications électriques sont disposées comme l'indique le schéma de la figure 2. Le cylindre intérieur et le réflecteur sont tous deux reliés au sol, par l'intermédiaire de résistances W_c et W_r dont l'une est variable. En avant de ces résistances, se trouve une dérivation sur laquelle est inséré un galvanomètre. Si Q_0 est

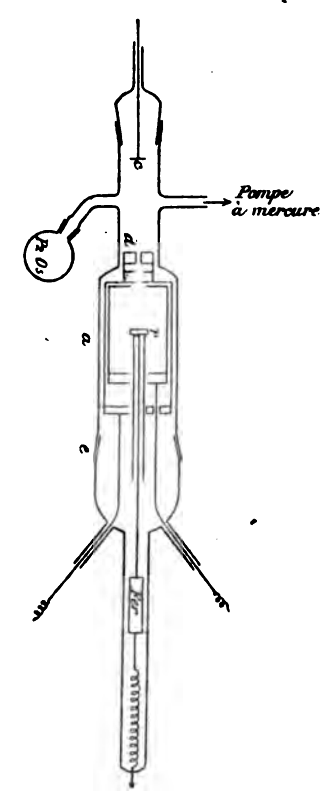


Fig. 1.

l'intensité totale du faisceau cathodique incident qui pénètre dans le cylindre, C la fraction qui revient au cylindre par diffusion dans l'air et par réflexion, l'intensité du courant issu du réflecteur est Q_0 — C. Le galvanomètre restera au zéro quand :

$$\frac{C}{Q_0 - C} = \frac{W_r}{W_c}$$

d'où

$$\frac{C}{Q_0} = \frac{W_r}{W_c + W_r}.$$

En réalité, ce résultat exige quelques corrections.

D'abord tous les rayons renvoyés par le réflecteur ne reviennent pas au cylindre, mais un certain nombre repassent par l'ouverture du diaphragme.

Ensuite, les rayons réfléchis par le réflecteur, se réfléchissent de nouveau sur le réflecteur ; ils sont donc en partie perdus pour le cylindre.

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XVIII, p. 154, janvier 1899.

Enfin une partie des rayons diffusés dans l'air ne parvient pas au cylindre, mais arrive au réflecteur ou se perd par le diaphragme d'entrée.

Pour calculer ces corrections, l'auteur admet que la réflexion se répartit d'une manière uniforme suivant toutes les directions. Cependant M. Campbell-Swinton a trouvé un maximum dans la direction de réflexion régulière. Ce maximum ne peut être guère prononcé, car dans un tube de Crookes sphérique toute l'hémisphère limitée par le plan de l'anticathode est fluorescente d'une manière uniforme; on n'observe aucun maximum d'éclat dans la direction de la réflexion régulière. M. Starke a vérifié par des expériences spéciales que cette fluorescence est bien due aux rayons cathodiques eux-mêmes et non à une espèce de rayons de Röntgen qui seraient absorbés par le verre. L'hypothèse énoncée est donc assez exacte pour servir de base au calcul des corrections.

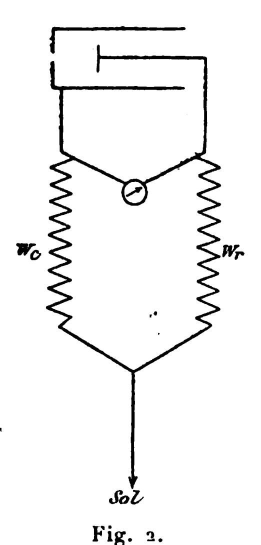


Fig. 2.

Soit Q_0 la quantité d'électricité que les rayons cathodiques transportent par unité de temps à travers le diaphragme : soit b le coefficient de diffusion dans l'air, à la distance du réflecteur au diaphragme. Le réflecteur recevra seulement une quantité d'électricité :

$$Q_0 e^{-ba} = Q_0 (1 - ba)$$

en bornant au premier terme le développement de e^{-ba}, car b est toujours très petit.

Si r est le coefficient de réflexion le réflecteur absorbera :

$$Q_0 = (1 - ba)(1 - r).$$

L'intensité du courant issu du cylindre sera donc :

$$C = Q_0 r (1 - ba) + Q_0 ba.$$

Pour deux distances différentes a_1 et a_2 du réflecteur on aura :

$$C_1 = Q_0 r (1 - ba_1) + Q_0 ba_1$$
$$C_2 = Q_0 r (1 - ba_2) + Q_0 ba_2$$

d'où :

$$r = \frac{\frac{C_1}{Q_0} a_2 - \frac{C_2}{Q_0} a_1}{a_2 - a_1}$$

$$b = \frac{\frac{C_1}{Q_0} - \frac{C_2}{Q_0}}{(a_2 - a_1)(1 - r)}.$$

M. Starke a trouvé ainsi :

Pour l'aluminium . . . $r = 0,282$
Pour le cuivre . . . . $r = 0,455$

Il a comparé par une méthode différente ces deux coefficients de réflexion ; il emploie un réflecteur portant l'un des métaux sur une face, l'autre métal sur la face opposée. On peut ainsi les substituer rapidement l'un à l'autre. Si Q est la quantité d'électricité reçue par le réflecteur pendant une seconde, l'intensité du courant qui traverse un galvanomètre inséré entre le réflecteur et le sol est :

$$R = Q (1 - r)$$

pour l'un des métaux,

$$R' = Q (1 - r')$$

pour l'autre, d'où :

$$r' = r + \frac{R - R'}{R} (1 - r).$$

Avec l'aluminium et le cuivre, cette méthode donne $\frac{R - R'}{R}$ 0,235 : en admettant que le coefficient de réflexion de l'aluminium soit 0,282 on calcule que celui du cuivre est 0,451, au lieu de 0,455 trouvé directement. Les expériences montrent de plus que $\frac{R - R'}{R}$ est constant, c'est-à-dire que le coefficient de réflexion ne change pas avec la différence de potentiel de décharge, autrement dit avec la vitesse des rayons cathodiques.

M. L.

Le Gérant : C. NAUD



Tome XXV. Samedi 15 Décembre 1900. 7e Année. — N° 50

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

APPAREILS DE MESURES DES SECTIONS ANGLAISE ET AMÉRICAINE

Les expositions de l'Angleterre et des Etats-Unis ont été loin de répondre à ce que l'on attendait de ces deux pays, où l'industrie électrique a atteint un si grand développement.

L'Angleterre, qui a vu naître une grande partie de nos instruments de mesures actuels, nous a surpris par l'absence des constructeurs dont les noms sont les plus connus en France : Elliott Brothers, Nalder, etc. Quand nous aurons examiné les expositions de White et de Crompton. dans la classe 27, de la Cambridge Scientific Inst. Comp., dans la classe 15, nous aurons vu tout ce que ce pays a présenté.

Pour les Etats-Unis, à part quelques instruments sans grande importance, perdus dans des vitrines peu regardées, il n'y a pas eu, à proprement parler, d'exposition d'appareils de mesures. Ce n'est pas à dire qu'il était impossible de voir les instruments en usage en Amérique, non, mais il fallait les chercher dans les stations électriques installées par les grandes sociétés américaines : General Electric Comp. et Westinghouse, ou leurs succursales françaises. De même les appareils Weston, une des marques américaines les plus connues en France, étaient simplement représentés par trois voltmètres à cadre mobile, séparés les uns des autres et mêlés à des appareils tout à fait différents ; cette société est, paraît-il, trop occupée en ce moment par l'installation de son usine de Berlin et n'a pas pu se faire représenter selon son importance. Il faut ajouter qu'un certain nombre de ses instruments fonctionnaient à la station du chemin de fer électrique, au quai d'Orsay.

Un lecteur qui, sans avoir vu l'Exposition, ouvrirait le catalogue officiel, après avoir lu les lignes ci-dessus, pourrait croire à un parti pris ; en effet, il y a pour la classe 27, 32 exposants inscrits aux Etats-Unis et 22 seulement pour l'Allemagne ! En réalité beaucoup



de ces exposants se sont contentés de déposer leur carte, sous forme d'un ou de deux appareils et se sont crus quittes. Est-ce suffisant pour montrer au public l'importance des maisons américaines et anglaises, pour juger des progrès accomplis ? Nous savons ce dont est capable l'industrie de ces deux nations, mais il est bien évident que l'Exposition ne permettait pas de comparer avec d'autres pays ; bien des personnes, peu au courant de l'état de l'industrie étrangère, n'ont pu juger que par ce qu'elles avaient sous les yeux. Il semble que les récriminations qui se font entendre déjà aux Etats-Unis, relativement aux récompenses, sont basées sur une comparaison des chiffres du catalogue plutôt que sur la réalité et nous ne pouvons que regretter de n'avoir pas vu les grandes marques américaines représentées comme on s'y attendait.

Ce que l'on peut constater tout d'abord sur les appareils industriels, surtout en Amérique, c'est l'indifférence absolue de la forme : on enveloppe les appareils de façon à les protéger le mieux possible, sans se préoccuper de la manière dont on les placera ensuite. C'est ainsi qu'un certain nombre d'appareils assez encombrants, dont les dimensions horizontales sont grandes, sont logés derrière le tableau, laissant seulement passer le cadran par une échancrure *ad hoc* ; le problème de l'aspect se trouve ainsi rapidement résolu.

C'est en Amérique également qu'on trouve le plus d'appareils complètement enveloppés dans une boîte métallique ne laissant voir que l'échelle et le bout de l'index. Dans les ampèremètres et voltmètres, pour courants continus, de Weston et de quelques autres constructeurs, la boîte est en fonte vernie ou nickelée et elle sert à protéger l'instrument, à la fois contre l'humidité et les accidents mécaniques, ainsi que contre les perturbations magnétiques ambiantes.

L'usine de transformation du quai d'Orsay renfermait un grand nombre d'ampèremètres, voltmètres, wattmètres, se réduisant, il est vrai, à un petit nombre de types : des appareils Weston pour le courant continu, des galvanomètres à induction de la Compagnie Westinghouse, des wattmètres du type Niagara, pour le courant alternatif.

Les appareils à cadre mobile de Weston sont trop connus aujourd'hui pour qu'il soit nécessaire de les décrire ici. Il faut cependant signaler leur bon fonctionnement et leur amortissement ; ce dernier point était d'autant plus remarquable que l'on voyait, presque côte à côte, l'ampèremètre Weston suivre exactement les variations du courant, tandis que les ampèremètres alternatifs se livraient à un mouvement désordonné.

Dans les galvanomètres à induction de la Westinghouse C°, des électros, excités par le courant à mesurer, agissent sur des disques métalliques, selon le dispositif bien connu. Il n'y a pas d'amortisseur et cette absence est vraiment fâcheuse. Tous les appareils à haute tension sont isolés du circuit, ils reçoivent le courant de transformateurs *élévateurs* ou *réducteurs* de tension : ainsi pour un circuit de 1 500 ampères, le courant qui passe dans l'ampèremètre proprement dit est seulement de 5 ampères environ.

Les wattmètres du type Niagara, également construits par la Westinghouse C°, sont aussi des appareils à induction, mais, dans ce cas, les électros des volts, excités d'une façon constante, agissent comme frein pour amortir les oscillations. Ces wattmètres sont constitués par un disque métallique horizontal, pivotant sur un axe vertical dirigé par des ressorts spiraux. Sur le disque agissent deux paires d'électros, l'une pour les volts, l'autre pour les ampères ; ces électros recevaient le courant secondaire de transformateurs dont les primaires étaient reliés comme le seraient les circuits mêmes des appareils dans la méthode des 2 wattmètres — il ne faut pas oublier que la station du quai d'Orsay transformait du courant triphasé. — A la circonférence du disque est fixé un cylindre sur lequel sont tracées les divisions ; ce cylindre se déplaçant derrière une fenêtre percée dans la paroi de l'ins-



trument, les divisions viennent toujours se présenter devant l'observateur, ce qui est très commode pour la lecture. Comme la graduation occupe la circonférence entière du cylindre, chaque division a une grande amplitude et les chiffres sont très visibles.

L'appareil, qui occupe une boîte rectangulaire, est placé dans une ouverture du tableau, il n'y a de visible sur la façade que la paroi convexe où se trouve la fenêtre ; le relief est ainsi très faible et il n'y a aucune connexion visible.

Dans les appareils de lord Kelvin, exposés par James White, on trouve aussi des galvanomètres à cadre mobile appelés : voltmètres ou ampèremètres S. R. de lord Kelvin ; ceci est une petite protestation, bien anodine, contre le nom de galvanomètre Deprez et d'Arsonval, les initiales S. R. voulant dire siphon recorder ; on sait, en effet, que cet appareil est de beaucoup antérieur à l'application aux mesures qu'en ont faite nos deux compatriotes. Les galvanomètres S. R. sont construits sous différentes formes : modèle circulaire, modèle à cadran lumineux et modèle à lecture sur champ, (fig. 1.) Le caractère distinctif de tous ces appareils, c'est que le *cadre mobile ne repose jamais sur des pivots* : les ressorts spiraux qui amènent le courant ont leur extrémité intérieure attachée à l'axe du cadre mobile ; c'est simplement la rigidité du ressort qui maintient le cadre ; cette disposition évite les frottements des pivots, mais elle rend l'appareil plus sensible aux vibrations.



Fig. 1. — Voltmètre S. R. à lecture sur champ.

Lord Kelvin fait des réserves sur la précision des galvanomètres à cadre mobile employés comme ampèremètres, réserves justifiées par la présence du shunt, il préfère employer pour cet usage des instruments dérivés de son *ampère gauge*. On sait en quoi consiste cet ampèremètre : un solénoïde à axe vertical, traversé par le courant, attire une légère tige de fer doux, portée par un levier fixé à l'index de l'instrument ; la force antagoniste est la pesanteur ; la tige plonge plus ou moins dans le solénoïde et fait dévier l'index. L'amortissement est obtenu à l'aide d'un petit disque, solidaire de l'index, qui plonge dans une cuve contenant de la glycérine. L'ampèremètre à lecture sur champ de la figure 2 est basé sur le principe de l'*ampère gauge*, ainsi que le grand voltmètre de station centrale (fig. 3). Ce dernier présente une disposition spéciale destinée à limiter l'échelle à la région utile, tout en gardant le zéro visible. Dans ce voltmètre le système mobile décrit ci-dessus est muni d'un contrepoids assez faible pour que l'appareil ait une grande sensibilité, ce contrepoids fixe le zéro de l'instrument. Mais dès que l'équipage a un peu dévié, il rencontre un second contrepoids, beaucoup plus lourd, qu'il est obligé de soulever ; pour atteindre ce résultat il faut que le voltage s'élève beaucoup et qu'il atteigne une valeur assez voisine du régime ; à partir de ce moment la déviration continue, mais avec une amplitude beaucoup plus grande que si toutes les divisions avaient dû être renfermées dans les limites de l'échelle.

Fig. 2. — Ampèremètre à lecture sur champ.

Une disposition analogue se voit dans le voltmètre multicellulaire de la figure 4 : le contrepoids de gauche est équilibré au zéro par un petit cavalier que l'on voit à droite, des

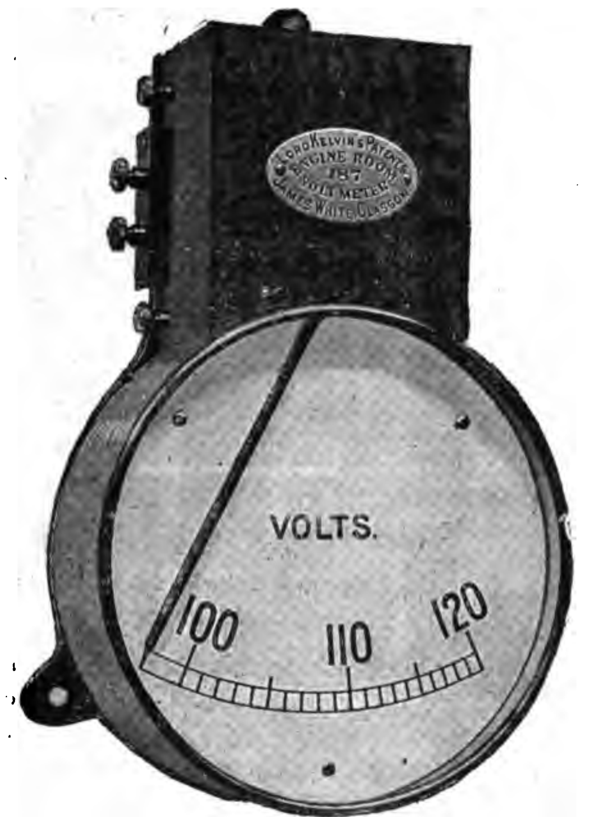


Fig. 3. — Voltmètre de station centrale.

que le voltage s'élève l'aiguille dévie, mais, à partir d'un certain moment, le cavalier reste accroché à un support fixe, le contrepoids devient prépondérant, et il faut que le voltage s'élève beaucoup pour permettre à l'aiguille de dépasser cette position.

A signaler encore, dans les appareils de



Fig. 4. — Électromètre multicellulaire.

lord Kelvin, la nouvelle forme de bobine de l'*ampère gauge*, dans laquelle le solénoïde est obtenu en découpant des tubes concentriques en hélices de sens alternés ([1]).

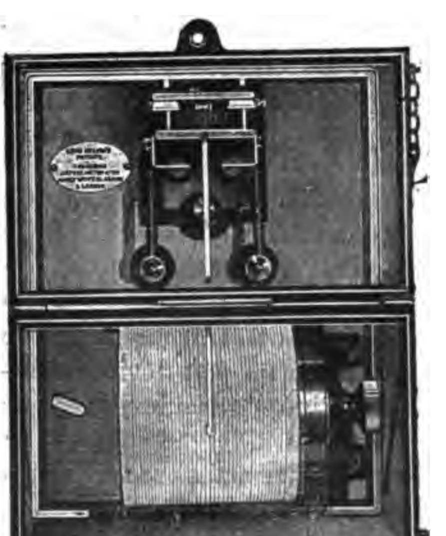


Fig. 5. — Enregistreur de pertes à la terre.

Cette disposition a pour but d'obtenir une attraction plus uniforme de la tige de fer et, par suite, les divisions du cadran sont presque égales.

L'enregistreur des pertes à la terre de lord Kelvin (fig. 5) est un galvanomètre composé d'un équipage astatique dont les aiguilles sont placées au centre de 2 bobines parcourues par le courant des pertes. Un index, fixé à l'équipage mobile, trace la courbe des fuites sur un tambour. C'est, croyons-nous, l'un des rares exemples de galvanomètre astatique enregistrant directement avec une plume.

Les balances étalons de lord Kelvin sont bien connues et il n'y avait d'ailleurs, dans les types exposés, rien de nouveau.

Le galvanomètre Crompton d'Arsonval est peu connu en France, il diffère assez du Deprez d'Arsonval ordinaire pour être mentionné. Ce galvanomètre, qui est surtout

([1]) *L'Éclairage Électrique*, t. XVII, p. 387, décembre 1898.

destiné aux *méthodes de zéro*, a un champ magnétique de faible largeur, qui ne permet qu'un très petit déplacement du cadre mobile. Celui-ci est circulaire, contrairement à l'usage des autres constructeurs ; cette forme est plus commode pour l'enroulement, mais elle a l'inconvénient de donner un moment d'inertie élevé par rapport au moment des forces électromagnétiques. La suspension est bifilaire, dans le sens technique du mot, c'est-à-dire composée de 2 fils voisins, supportant tous les deux le poids de la bobine ; ces fils sont attachés, en haut, à un bouton permettant de les orienter et ils sont reliés chacun à une des bornes de l'appa-

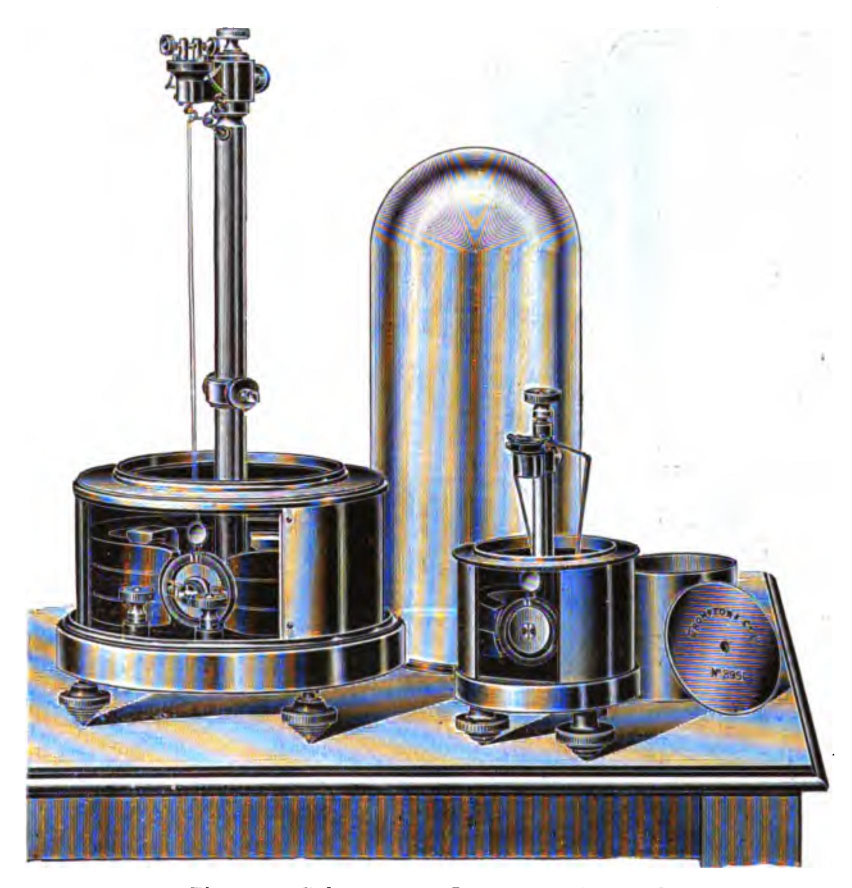


Fig. 6. — Galvanomètre Crompton d'Arsonval.

reil ; en bas les fils sont terminés par des boucles dans lesquelles viennent s'accrocher deux petites agrafes métalliques, fixées au cadre mobile et soudées chacune à un des bouts du fil de ce cadre. Grâce à cette disposition il est facile de décrocher la bobine et de la remplacer par une autre de résistance différente. La sensibilité du galvanomètre est déterminée, en partie, par la longueur et l'écartement des fils du bifilaire et on peut la faire varier, dans le grand modèle, — à gauche dans la figure 6 — en faisant passer les fils dans l'échancrure d'une petite pièce d'ivoire tenue par une bague qu'un bouton de serrage permet de fixer à une hauteur convenable, le long de la colonne ; l'échancrure étant plus étroite que l'écartement des fils, on réduit, par ce moyen, la longueur utile de la suspension et on réduit également la sensibilité. Dans la figure 6 la pièce d'ivoire est tournée de côté, les fils ont toute leur longueur. Pour assurer l'isolement de l'appareil les vis calantes sont en ébonite.

La Cambridge Scientific Instrument Comp. exposait un galvanomètre d'un intérêt un peu spécial et que l'on connait peu, bien qu'il date déjà d'une dizaine d'années : c'est le micro-radiomètre de Boys, appareil formé par la réunion d'un couple thermoélectrique et d'un galvanomètre ; cette disposition avait été indiquée par M. d'Arsonval. Le galvanomètre est composé d'un circuit mobile dans le champ d'un aimant. L'équipage est une simple boucle rectangulaire, en fil de cuivre fin, d'environ 30 mm de longueur et 3 mm d'écartement entre les côtés verticaux. Cette boucle est suspendue par la partie supérieure à un fil de quartz

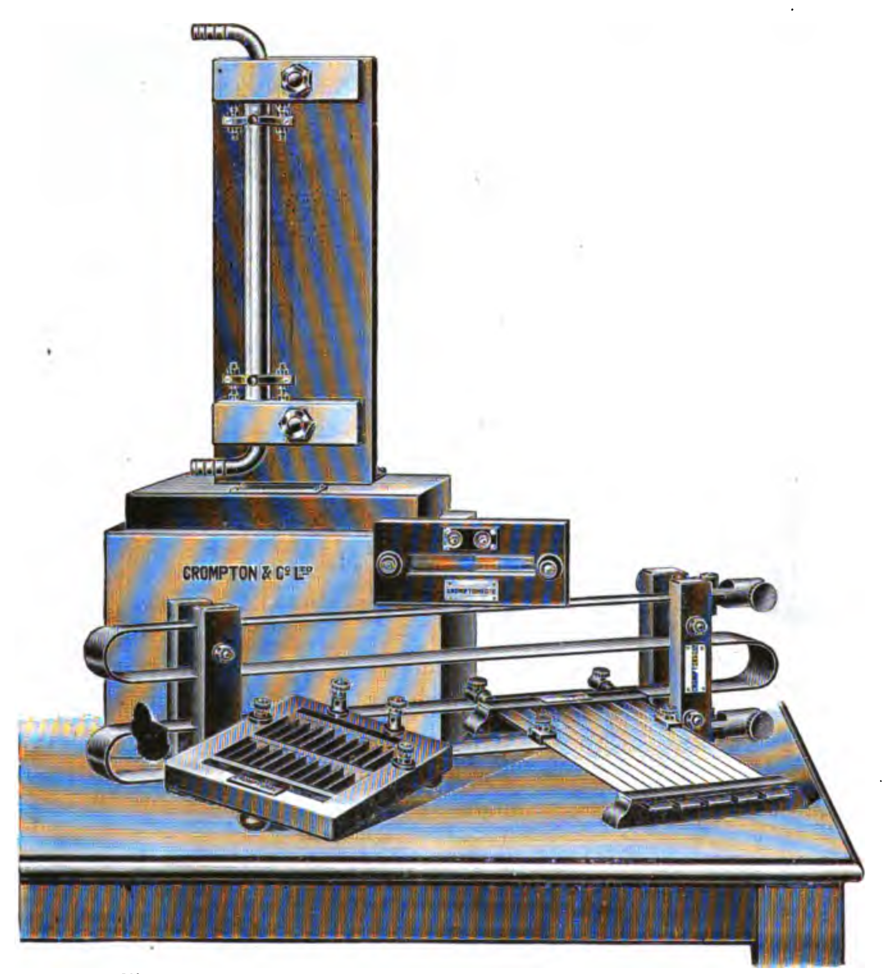


Fig. 7. — Résistances Crompton pour mesures de courants.

placé dans un tube de verre. La partie inférieure de la boucle est formée par le couple thermoélectrique composé de 2 fils, bismuth et antimoine, dont la soudure est soumise au rayonnement. Le couple lui-même n'est pas placé dans le champ magnétique, il se trouve au-dessous, dans un cylindre épais, en cuivre rouge, percé seulement d'une petite fente pour laisser pénétrer les radiations. Le champ magnétique est fourni par un aimant en U, horizontal, muni de pièces polaires. Tout l'appareil est enveloppé dans une boîte épaisse, en bois, destinée à protéger le couple contre les actions thermiques étrangères.

La mesure des résistances n'était représentée que par les boites bien connues de White,



le pont à téléphone de Hanchett et Sage, décrit récemment ici (1) et les résistances étalonnées de Crompton.

Ces dernières, (fig. 7), sont toujours en manganin et, selon l'intensité qu'elles doivent supporter, elles sont en fils roulés en boudin, en lames, ou en tubes, avec refroidissement par circulation d'eau.

On sait que M. Crompton est un de ceux qui ont le plus contribué à répandre la méthode du potentiomètre, pour tous les étalonnements qui demandent une certaine précision. Son appareil, qui est le premier potentiomètre *industriel* réalisé, mérite quelque attention, même aujourd'hui où des modèles plus nouveaux existent chez tous les constructeurs. Les figures 8 et 9 montrent le schéma et l'ensemble du potentiomètre Crompton. Un fil de 25 cm de long est tendu sur une planchette, au-dessus d'une règle divisée en 1000 parties ; la résistance de ce fil est d'environ 2 ohms. Une série de 14 bobines, chacune égale à la résis-

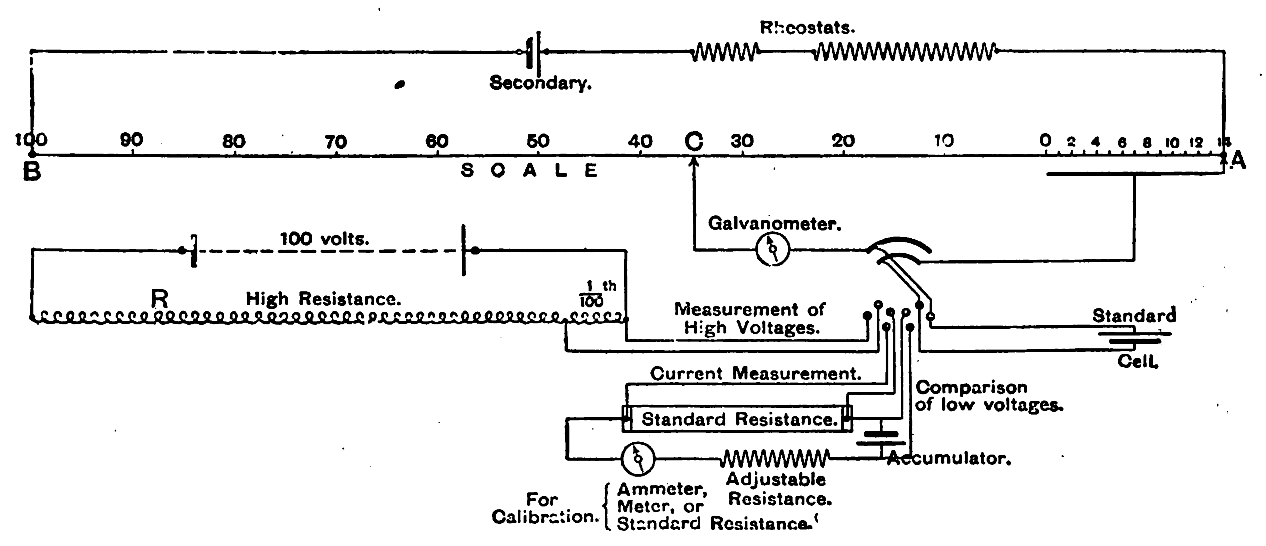


Fig. 8. — Schéma de potentiomètre Crompton.

tance de la portion 0-100 du fil, est reliée aux plots du commutateur E — OA (fig. 8). Des résistances auxiliaires G et G_1 permettent de régler le courant fourni par un accumulateur, de façon à ce que chaque bobine de E donne une chute de potentiel de 0,1 volt. Bien entendu ce réglage se fait au moyen d'une pile étalon, que l'on peut, au moyen du commutateur double H, insérer dans un circuit dérivé renfermant le galvanomètre. Il suffit alors d'inscrire sur le potentiomètre la valeur de l'étalon, par exemple, pour un étalon Clark ayant 1,434 volt, on mettra la manette de E sur 14 et le curseur du fil sur 34, ensuite, au moyen des rhéostats G et G_1, on réglera le courant jusqu'à ce que le galvanomètre revienne au zéro. Le courant une fois réglé l'opération inverse donnera la valeur de la différence de potentiel intercalée entre 2 quelconques des plots du commutateur H. Pour mesurer les voltages supérieurs à 1,6 volt, il faut employer une boîte de résistances auxiliaires agissant comme réducteur de potentiel.

La méthode du potentiomètre est évidemment excellente et elle mérite de prendre une place importante dans les laboratoires ; elle permet, comme il est facile de le comprendre, toutes les mesures qui reposent sur une différence de potentiel : forces électromotrices,

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXIII, p. 227, 12 mai 1900.

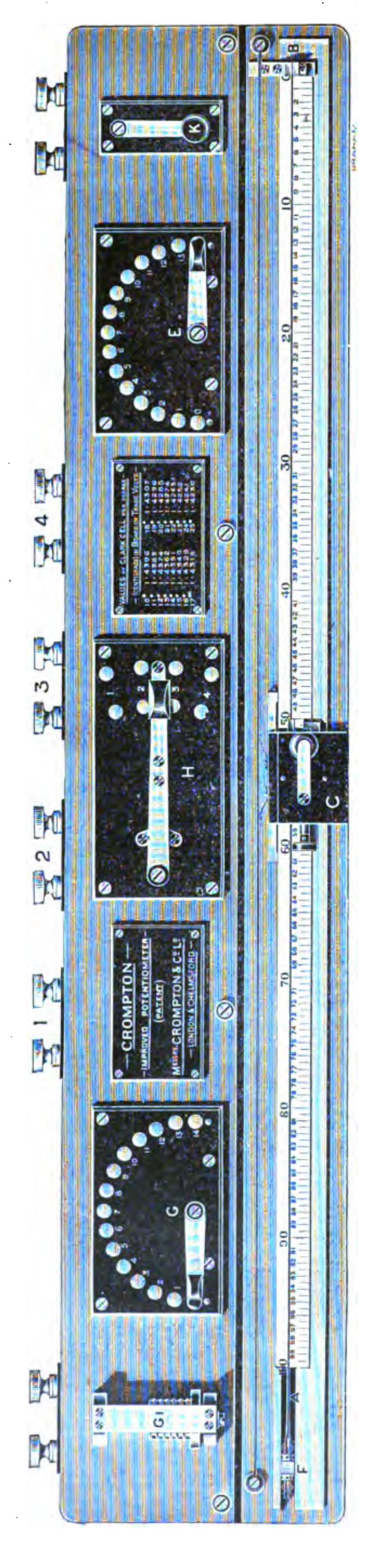


Fig 9. — Potentiomètre Crompton.

intensités et résistances, mais il ne faudrait peut-être pas en abuser et faire du potentiomètre la cheville ouvrière d'un laboratoire !

Nous avons déjà eu l'occasion de signaler, dans ce journal, l'oscillographe de Duddell [1], construit par la Cambridge Scientific Inst. Comp. Dans cet appareil le système galvanométrique est constitué par un bifilaire dont les 2 brins *ss*, (fig. 10 et 11) placés dans un champ magnétique intense, sont parcourus, en sens contraires par le courant à mesurer. L'action électrodynamique fait fléchir un des brins en avant, l'autre en arrière, de sorte qu'un petit miroir M collé sur les deux brins à la fois, dévie quand le courant passe dans le système.

Le bifilaire est formé par une mince lame de bronze phosphoreux dont la section est de 0,175 × 0,0075 mm ; ce ruban passe, à la partie supérieure sur une petite poulie en ivoire *p* portée par un ressort et les deux brins retombent ensuite, parallèlement et très près l'un de l'autre, dans l'entrefer de l'électro NS ; ils sont attachés, en bas, à deux points fixes reliés aux bornes. Le ressort de la poulie a pour but de donner au bifilaire la tension nécessaire pour que la durée d'oscillation soit aussi courte que possible : un dix-millième de seconde environ. L'entrefer de l'électro est très étroit, il est fermé en arrière par une cloison, en avant par une lentille de verre simplement posée sur les pôles de l'électro et retenue en place par la capillarité, car la boîte ainsi fermée est remplie d'huile épaisse destinée à amortir les oscillations du système.

L'appareil de la figure 12 est double, pour servir à l'observation simultanée des courbes des volts et des ampères. La tension est donnée aux deux bifilaires à la fois, par un seul peson que l'on voit en haut de la figure. Les 4 tubes qui sont au-dessous des pôles renferment des fils fusibles destinés à protéger l'appareil. L'électro annulaire qui fournit le champ exige seulement 0,25 ampère sous 100 volts ; ses bobines peuvent être groupées, en série ou en dérivation, selon le voltage disponible.

Pour l'observation directe et la photographie, l'oscillographe est complété par un petit moteur synchrone (fig. 13) qui imprime, au moyen d'une

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XVII, p. 389, 3 décembre 1898.

came, un mouvement oscillant au miroir incliné que l'on voit sur la figure. La came est tracée de façon à ce que le rayon réfléchi se déplace avec une vitesse uniforme sur l'écran ; comme le mouvement de retour du miroir ne peut pas être utilisé, sous peine de compliquer les images, ce retour se fait très rapidement et pendant le même temps un petit diaphragme, qui tourne avec la came, vient intercepter le rayon lumineux incident. Selon le dispositif indiqué par Boys, une lentille cylindrique, à axe horizontal, est placée sur le trajet des rayons lumineux — au premier plan sur le moteur synchrone, — cette lentille a son foyer sur l'écran où on reçoit l'image; de cette manière on obtient un point lumineux plus net qu'avec une fente. L'ensemble de l'installation est montré par la figure 14 : une source lumineuse, d'éclat aussi vif que possible, est placée à droite, en dehors de la chambre noire et éclaire les miroirs de l'oscillographe ; les rayons réfléchis traversent d'abord la lentille cylindrique, puis ensuite rencontrent le miroir oscillant, qui les renvoie sur l'écran en leur imprimant un mouvement périodique proportionnel au temps. Le déplacement produit par le courant étant perpendiculaire au déplacement donné par le moteur synchrone, la composition de ces deux mouvements a pour résultat le tracé, sur l'écran, d'une courbe lumineuse représentant le courant en fonction du temps.

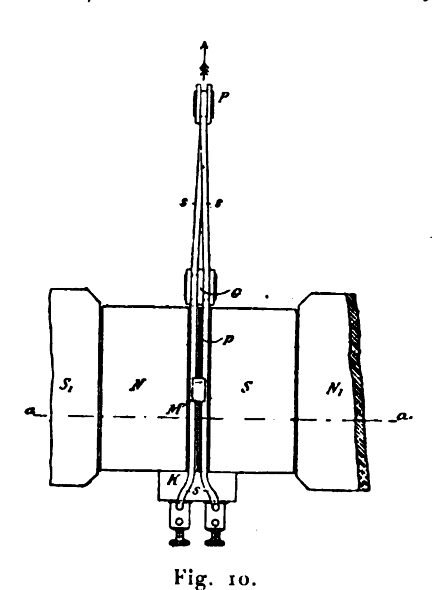


Fig. 10.

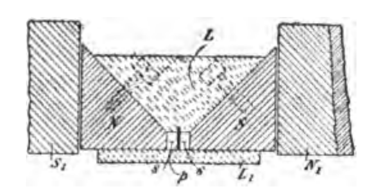


Fig. 11.

Le moteur synchrone est intéressant par sa simplicité : il se compose de 2 électros en fer à cheval, placés l'un en face de l'autre, et d'un induit qui tourne entre les électros et perpendiculairement à ceux-ci, autour d'un axe horizontal. L'induit, ou pour mieux dire, la partie mobile, est constitué par 4 tiges de fer doux montées parallèlement à l'axe de rotation et tenues par deux disques en bois dont on voit le bord supérieur sur la figure ; il n'y pas d'enroulement sur cet induit. Quand le moteur a atteint la vitesse du synchronisme, deux morceaux de fer opposés sont attirés par une des phases du cou-

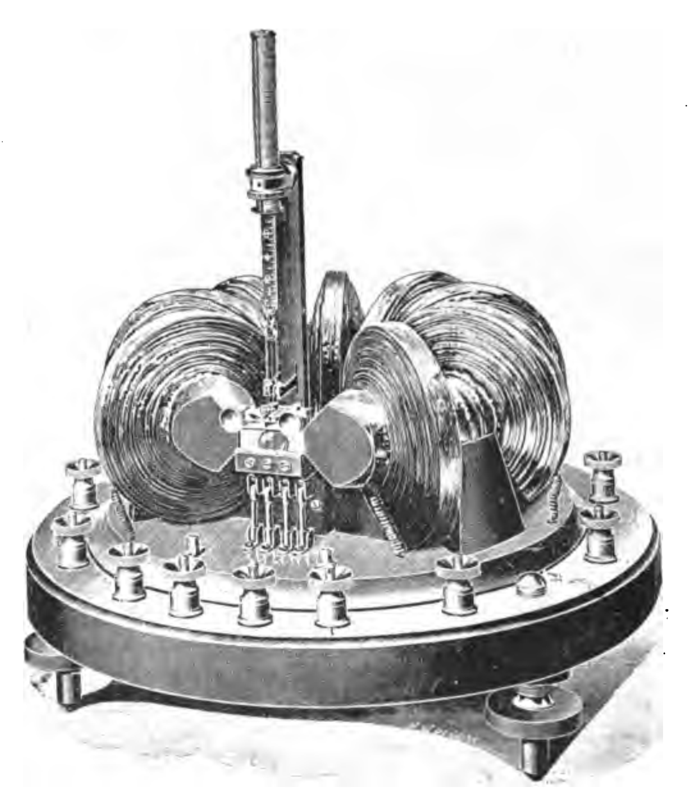


Fig. 12. — Oscillographe double de Duddell.

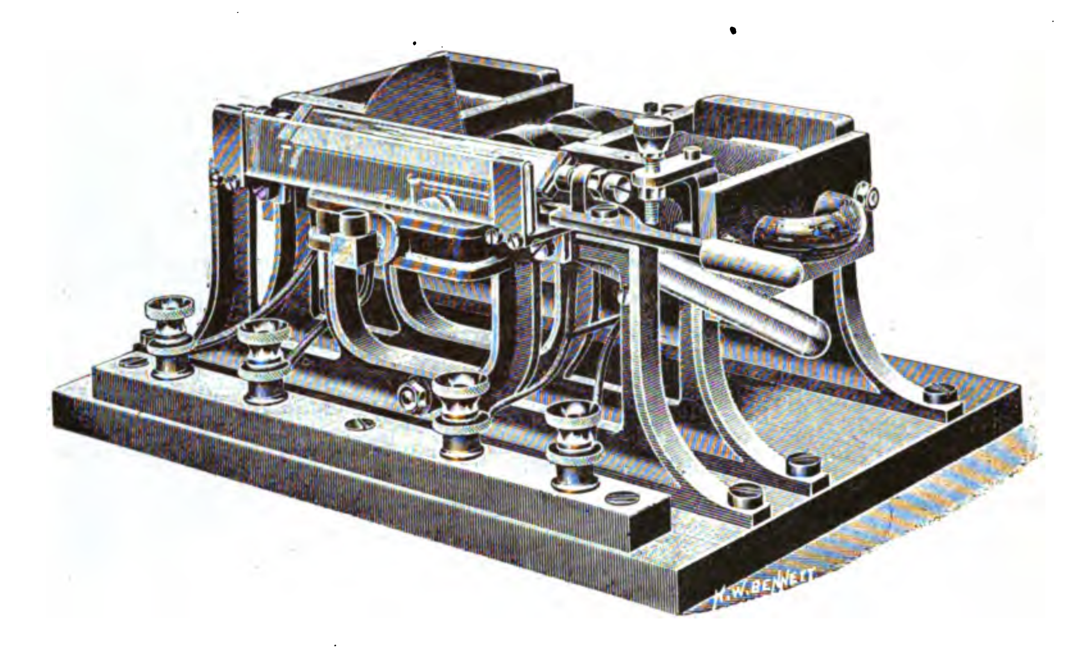


Fig. 13. — Moteur synchrone de l'oscillographe Duddell.

Fig. 14. — Installation de l'oscillographe Duddell.

rant, les deux autres par l'autre phase, par conséquent l'induit fait un tour complet pour 2 périodes.

Pour atteindre facilement la vitesse convenable, la disposition employée consiste simplement à ajouter sur l'axe une came à quatre dents, chacune d'elles, en passant, soulève un ressort et rompt le circuit des électros ; dans ces conditions le moteur agit de la même façon, qu'il soit alimenté par du courant continu ou du courant alternatif : les électros attirent les morceaux de fer voisins et dès que ceux-ci arrivent en face, la dent de la came rompt le courant jusqu'à ce que cette position soit dépassée; le ressort retombe alors et rétablit le courant qui attire le morceau de fer suivant. Avec le courant alternatif, dès que le synchronisme est atteint, on entend un battement entre le bruit de la came et celui du courant, on relève alors le ressort de l'interrupteur en abaissant le second levier dans la position que l'on voit sur la figure, et le moteur continue à tourner. Le premier levier sert au réglage du miroir oscillant,

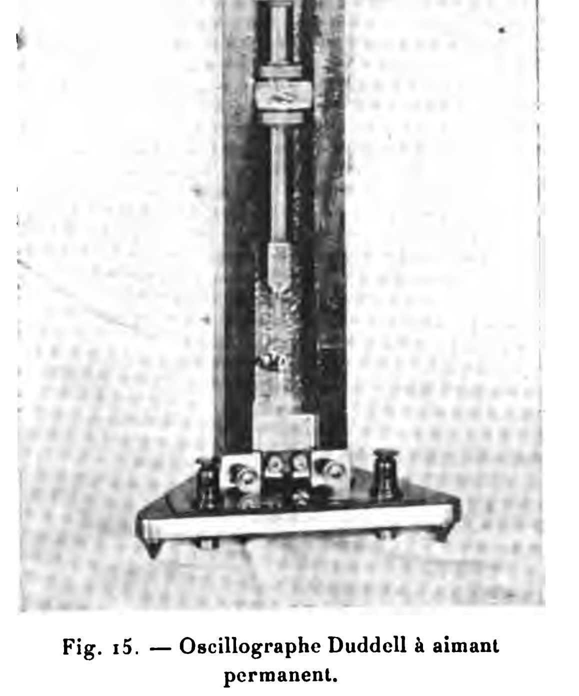
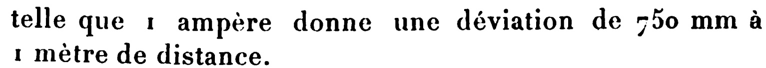


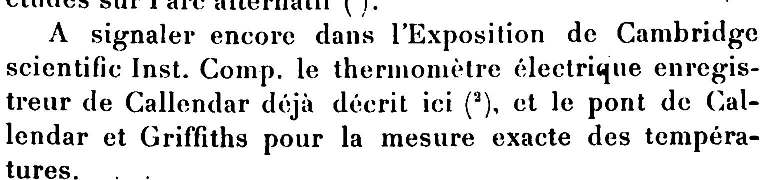
Fig. 15. — Oscillographe Duddell à aimant permanent.

La figure 15 représente une nouvelle forme de l'oscillographe Duddell. L'appareil est simple, c'est-à-dire qu'il n'y a qu'un seul bifilaire. Le champ est produit par un aimant permanent, en U renversé. Ce modèle réglé à 5000 oscillations doubles, par seconde, à une sensibilité



telle que 1 ampère donne une déviation de 750 mm à 1 mètre de distance.

On sait que le principe de l'oscillographe bifilaire a été indiqué dès 1893 par M. Blondel, mais c'est M. Duddell qui a réussi le premier à lui donner une forme suffisamment pratique et à l'utiliser avec fruit dans d'intéressantes études sur l'arc alternatif (¹).



A signaler encore dans l'Exposition de Cambridge scientific Inst. Comp. le thermomètre électrique enregistreur de Callendar déjà décrit ici (²), et le pont de Callendar et Griffiths pour la mesure exacte des températures.



Fig. 16. — Thermomètre électrique Crompton Fisher.

Le problème de la mesure électrique et de l'indication à distance des températures est résolu dans l'appareil de Crompton et Fisher par l'emploi d'un galvanomètre différentiel, (fig. 16) dans un des circuits duquel est intercalée une bobine de fil de platine placée dans l'enceinte dont on veut

(¹) *Institut of Electrical Enginers*, janvier 1899.

(²) *L'Éclairage Électrique*, t. XXI, p. 499, 30 décembre 1899.

connaître la température. L'autre circuit renferme une résistance en fil à faible coefficient de variation, de sorte que les deux circuits étant placés en dérivation sur une source de force électromotrice déterminée, le galvanomètre indique la différence de résistance et, par conséquent, la température cherchée. La division de cet appareil est assez uniforme, ce qui peut être avantageux dans certains cas ; le seul inconvénient du système, c'est qu'il exige une force électromotrice constante. On peut placer l'appareil sur un circuit d'éclairage à voltage constant, il suffit d'ajouter une résistance convenable en série avec les deux circuits du galvanomètre.

H. ARMAGNAT.

ALTERNATEURS TRIPHASÉS DE 1 000 CHEVAUX DE LA SOCIÉTÉ ÉLECTRICITÉ ET HYDRAULIQUE

La Société « Electricité et Hydraulique » a exposé à Paris deux mêmes machines triphasées de 1 000 chevaux à inducteur volant, qui alimentaient les réseaux de l'éclairage et du transport de force motrice à l'Exposition. La machine de la Section belge a été construite dans les ateliers de Charleroi : elle est accouplée à une machine compound Bolinckx de 1 000 chevaux à 80 tours par minute. La seconde machine, exposée dans la Section française, provient des usines de Jeumont ; la machine à vapeur qui la commande directement fait 94 tours par minute, elle provient des ateliers Weyher et Richemond. Les deux machines à vapeur sont construites suivant le type compound, à deux cylindres et ayant le volant entre les deux manivelles.

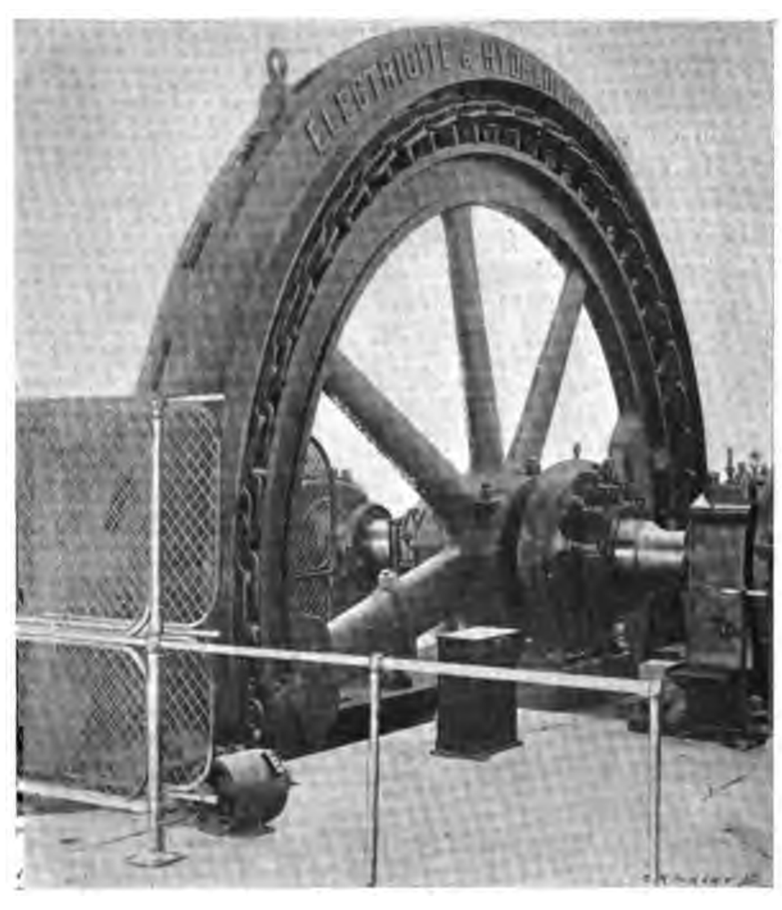


Fig. 1.

Une description très étendue au point de vue de la construction des alternateurs a été faite par M. J. Reyval (1). Qu'il me soit permis d'ajouter ici quelques considérations relatives à la construction de ces grandes machines et principalement en ce qui concerne leurs qualités électriques.

Le problème de la construction de grandes machines est définitivement tranché, comme le montrent toutes les constructions modernes et il est certain qu'aucune des machines ne

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXV, p. 365 et 370, 8 décembre.

présente de nouveauté importante. Malgré cela, je ne puis me ranger à l'avis d'un électricien bien connu qui a dit que toutes les machines exposées étaient identiques, car, si les lignes principales ont quelque ressemblance, il y a beaucoup de détails de construction très intéressants qui diffèrent.

Les machines-volants se divisent principalement en deux types distincts : 1° en machines où la stabilité est augmentée par un système de croisillons (Brown Boveri) et en second lieu en machines ayant une carcasse en forme de U très haut et, par suite, un diamètre extérieur plus grand ; mais ces machines sont beaucoup plus étroites et d'une forme plus élancée et mieux en concordance avec la forme du volant.

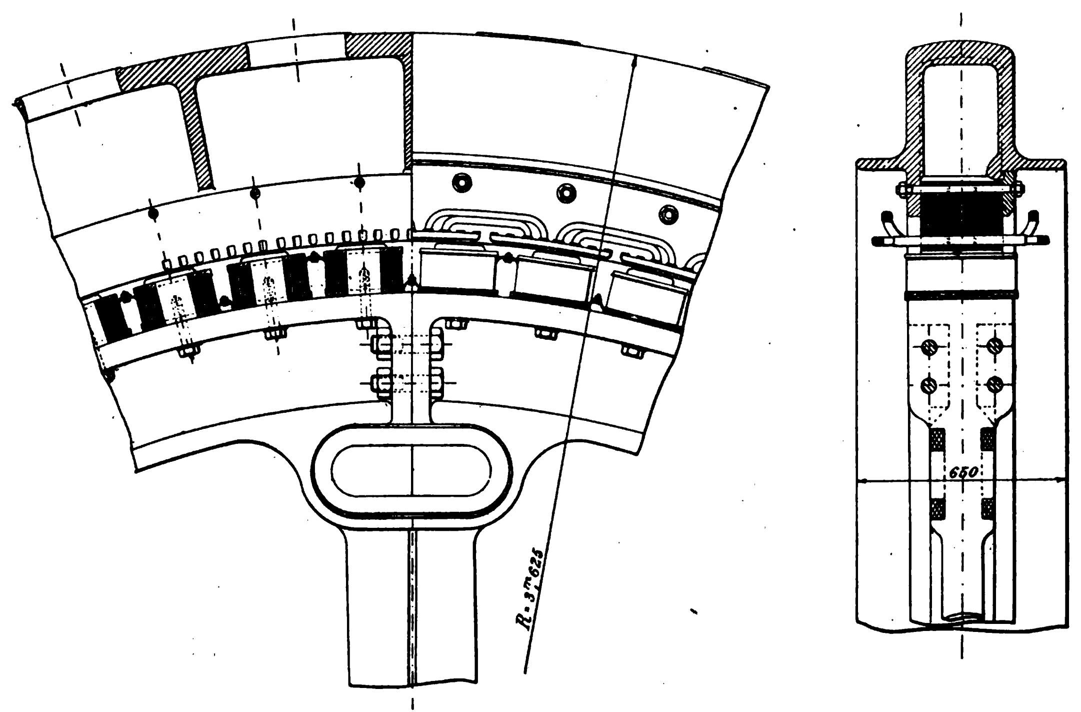


Fig. 2. — Coupe perpendiculaire à l'axe et par l'axe d'une portion d'induit et d'inducteur d'un alternateur de 800 kilovolts-ampères de la Société Électricité et Hydraulique.

Les machines de la Société Electricité et Hydraulique appartiennent à ce dernier type. La forme étroite était un grand avantage pour leur placement, étant donné que dans les machines compound l'espace disponible est limité par les deux cylindres et que le générateur-volant se trouve forcément entre les manivelles. Une machine plus large nécessiterait un écartement plus grand des paliers et un allongement défavorable de l'arbre. Dans les groupes exposés les machines ont été mises à la place du volant, sans qu'il y ait eu besoin d'augmenter si peu que ce soit l'encombrement de l'installation, c'est-à-dire que les cylindres ont pu garder la position que leur avait donnée le constructeur.

Le choix d'une machine compound permettait en outre de faire la partie tournante très légère. Le volant pèse environ 20 200 kg et possède un $\frac{PV^2}{g}$ d'environ 880 000 mètre-kilogrammes. Ces machines tournant à 94 tours à la minute, sont destinées à travailler en parallèle avec d'autres génératrices, ont un coefficient d'irrégularité de 1/200.

Le volant, avec les pièces polaires, pèse.	20 200 kg
L'induit, enroulement compris »	22 000 »
Le poids total est donc de	42 200 kg



soit 53 kg par kilowatt dont 3 kg de cuivre, ce qui prouve suffisamment la répartition avantageuse de la matière.

Les résultats électriques des machines sont excellents. A ma connaissance on n'est pas encore arrivé à obtenir *une chute de tension aussi minime* entre la marche à vide et la pleine charge dans des machines de ce genre. Ce résultat a été obtenu par divers détails électriques que je vais exposer, mais principalement par une *saturation magnétique élevée* dans les pièces polaires et une dispersion magnétique très réduite, c'est-à-dire une faible augmentation de cette dispersion sous une charge croissante.

La figure 2 montre deux coupes de la carcasse et de l'inducteur.

En premier lieu je ferai remarquer la forme anormale des pièces polaires. Les pôles sont excessivement bas et de ce chef la section d'air du champ de dispersion entre deux pôles est diminuée en raison de leur hauteur. Ensuite, étant donnée la saturation très élevée des pièces polaires, leur section devient relativement petite et il en résulte une plus grande longueur du champ de dispersion entre deux pôles consécutifs. Ces deux facteurs ont pour effet de réduire fortement le champ de dispersion magnétique de l'inducteur.

Les pièces polaires sont cintrées et fixées directement sur le volant sans être encastrées, comme on le fait souvent dans le but de diminuer la résistance magnétique du contact entre la fonte et l'acier. Rien n'empêchait de faire ceci, vu que le chemin très court de la résistance ne peut avoir qu'une faible influence et que, d'ailleurs, il y avait saturation très élevée.

Les bobines excitatrices se composent de bandes de cuivre enroulées à plat sur les pièces polaires et sont de construction simple et robuste.

L'induit est à trous et ceux-ci ont une faible profondeur, ce qui diminue la dispersion qui a lieu dans leur intérieur.

Comme la dispersion entre les pièces polaires celle dans l'induit a été réduite autant qu'il était possible.

Cependant il se produit une dispersion magnétique notable du flux inducteur dans l'induit à travers les isthmes des rainures dans lesquelles se trouve l'enroulement induit. Pour diminuer ces fuites magnétiques on aurait dû munir, comme on le fait habituellement, les rainures de fentes d'une certaine largeur; les encoches ont au contraire été fermées par un pont de 2 mm d'épaisseur.

Cette disposition amène naturellement une forte dispersion à cet endroit, si les rainures étaient ouvertes, le champ de dispersion dépendrait de la résistance de l'air des ouvertures, c'est-à-dire que ce champ de dispersion serait proportionnel aux ampère-tours et augmenterait ou diminuerait avec la charge variable de l'induit. Par le fait même que les isthmes des rainures subsistent il y a, en cet endroit, une dispersion beaucoup plus grande ; mais cette dispersion a déjà lieu dans la marche à vide, et les ponts sont déjà saturés.

Le point capital pour atteindre une faible chute de tension est *la saturation très élevée* des pièces polaires, comme je l'ai dit plus haut. A cause de la grandeur de l'entrefer il était très difficile de saturer assez fortement les pièces polaires avec une excitation normale. L'inducteur a un diamètre de 6 m et un entrefer de 8 et de 10 mm respectivement dans la machine de la Section belge (80 tours) et celle de la Section française (94 tours). Pour de petites machines où l'on a plus d'élasticité dans l'entrefer, l'étude est beaucoup plus simple. Malgré cela le but proposé est atteint d'une façon complète.

GÉNÉRATRICE DE LA SECTION FRANÇAISE. 94 tours p. m., 50 périodes par s.

La courbe de magnétisation de cette machine est représentée dans la figure 3. La ten-



sion normale de 2.200 volts correspond, à vide, à un courant d'excitation de 127,5 ampères et 70 volts environ, c'est-à-dire 9 kilowatts. ou 1,2 p. 100 du travail total.

Par suite de la saturation des pièces polaires, la tension normale se trouve très loin sur la partie supérieure de la courbe où elle n'augmente que très lentement avec l'excitation ; il en résulte que la charge de la machine n'a que peu d'influence sur la tension.

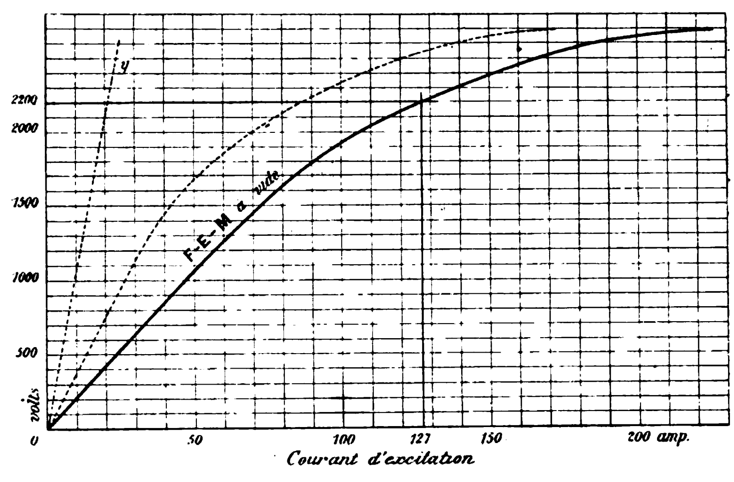


Fig. 3.

Pour déterminer la chute de tension en charge, par le calcul, il nous faut encore un deuxième essai nous donnant le courant de court-circuit de la machine. Cette courbe donne le rapport entre le courant d'excitation et le courant de l'induit lorsqu'on met l'enroulement de l'induit en court-circuit. La tension de la machine est naturellement zéro, et sa force électromotrice (qui ne sert alors qu'à couvrir la perte ohmique dans l'intérieur de la machine) est aussi presque nulle, c'est-à-dire que le champ de l'induit devient presque nul. Le courant de la machine est déwatté et de grandeur telle que lui seul pourrait produire le champ magnétique antagoniste. Ce courant neutralise le courant d'excitation par suite de son action magnétisante. En conséquence, les ampère-tours de l'induit deviennent égaux aux ampère-tours de l'inducteur. La courbe du courant en court-circuit indique le rapport entre le courant d'excitation et celui de l'induit pour lequel l'influence des ampère-tours a la même grandeur. Ce rapport résulte naturellement surtout des spires de l'induit et de l'inducteur, mais dépend aussi de la disposition de la machine, de la forme et de la dispersion magnétique des pièces polaires. La forme de la courbe qui représente ce rapport doit être une droite dans sa direction principale.

Fig. 4.

La figure 4 montre cette courbe.

Il n'est pas nécessaire de connaître la dispersion primaire des pièces polaires, puisque celle-ci est déjà comprise dans la courbe de tension (figure 3). Mais il est indispensable de connaître le champ de dispersion de l'induit afin de pouvoir calculer la chute de tension ; la dispersion de l'induit varie évidemment avec la charge et donne lieu par suite à une augmentation correspondante du champ.

La dispersion de l'induit a été déterminée expérimentalement de la manière suivante :

La machine ayant une excitation constante de 150 ampères, ce qui correspond à une tension à vide de 2 380 volts a été chargée *inductivement* avec 100 ampères ; on a alors mesuré la tension aux bornes qui en résultait. Cette tension était de 2 140 volts. S'il n'existait point de dispersion magnétique, les ampère-tours des bobines et de l'induit donneraient simplement une différence, puisque la charge est purement inductive. D'après la courbe en court-circuit, au courant de l'induit de 100 ampères correspond une excitation de 18 ampères. La différence (fig. 5) est alors de 132 ampères. Mais à ce courant d'excitation de

132 ampères correspond un champ pour 2 240 volts à vide (fig. 3). Ce champ se manifeste réellement dans les pièces polaires et la différence 2 240 — 2 140 = 100 volts, c'est-à-dire 4,5 p. 100, représente le champ de dispersion magnétique de l'induit. Le champ de dispersion de l'induit est proportionnel au courant de l'induit. Pour le courant normal de 200 ampères il sera donc égal à 200 volts.

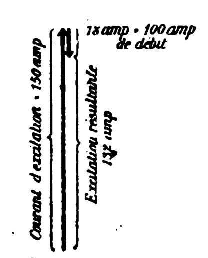


Fig. 5. — Charge de 100 ampères complètement inductive.

D'après les diagrammes (¹) de Rothert et de l'auteur pour la composition des ampère-tours, on peut alors déduire la diminution du champ et la chute de tension de la manière suivante.

Soit AB, (fig. 6) le champ à vide correspondant à la tension de 2 200 volts. La direction de la tension E est perpendiculaire à AB. Soit I la direction du courant, et l'angle compris entre E et I le décalage de phase du courant = φ. Dans le cas considéré cos φ = 0,85, I = 200 ampères. Au champ s'ajoute premièrement un champ de dispersion BC qui correspond à 200 volts pour un courant de 200 ampères, ensuite il faut porter perpendiculairement à I un champ CD de 44 volts correspondant aux pertes ohmiques. Le champ total de la machine n'est plus alors AB, mais doit être égal à AD, et ce champ devient d'autant plus grand que le décalage de phase du courant est lui-même plus grand.

Fig. 6.

Au champ AD = 2 350 volts correspond alors, d'après la courbe de magnétisation, le courant d'excitation AF = 145 ampères. A celui-ci s'ajoute, dans la direction de I, le courant de l'induit 200 ampères = 36 ampères d'excitation et le courant d'excitation résultant est AG = 168 ampères. A ce courant correspond à vide une tension de 2 500 volts.

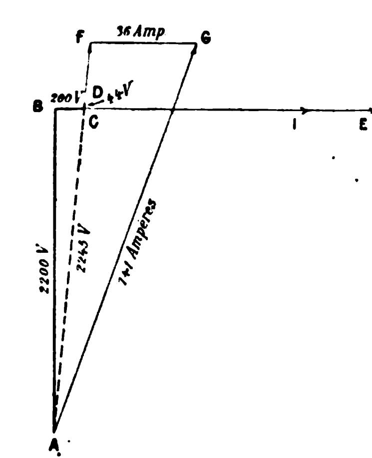


Fig. 7.

Ceci veut dire que la chute de tension pour 200 ampères avec cos φ = 0.85 est de 300 volts = 12 p. 100. C'est le cas de la pleine charge de la machine.

On se rendra facilement compte du progrès mis en évidence par ce résultat en le comparant au cas usuel où la saturation des pôles est moindre et où la tension se trouve plus bas sur la caractéristique. La tension est alors approximativement proportionnelle à l'excitation, c'est-à-dire que (dans le cas qui nous occupe) la chute de tension serait de environ 20 p. 100, soit presque le double.

La figure 7 donne encore le diagramme pour une charge non inductive ; I a la même phase que E. AB est le champ à vide = 2 200 volts; BC le champ de dispersion secondaire = 200 volts. CD la perte ohmique = 44 volts ; AD le champ total = 2 245 volts. Le courant d'excitation correspondant AF = 132,5 ampères, les ampères-tours de l'induit 200 ampères (excitation 36 ampères)

(¹) Rothert, *Elektrotechn. Zeitschr.*, 1896, p. 575. Heylaud, *ibid.* 1896, p. 618.



= E G et l'excitation résultante AG = 141 ampères. A ce courant correspond une tension à vide 2 315 volts. C'est-à-dire que la chute de tension pour une charge non inductive de 200 ampères est de 5 p. 100. Pour des pôles non saturés elle serait de 8 p. 100 [1].

Dans ces machines à haute saturation des pièces polaires, il est très intéressant de faire les considérations suivantes sur l'influence de l'entrefer sur la chute de tension. Il est généralement connu que l'augmentation de l'entrefer comporte une diminution de la chute de tension d'une machine. Dans notre cas l'entrefer ne se remarque presque pas ou tout au moins la chute de tension n'augmente guère lorsque l'on réduit l'entrefer.

Fig. 8.

Fig. 9.

Si on réduit par exemple l'entrefer de 8 à 6 mm, la courbe de magnétisation se déplace autour d'une droite Oy et prend la position de la courbe pointillée. Le diagramme prend alors la forme de la figure 8. AB le champ à vide = 2 200 volts et AD le champ total résultant pour 2 350 volts restent les mêmes. A ce champ pour 2 350 volts correspond une excitation de 105 ampères d'après la courbe pointillée. A ceci s'ajoute le courant FG de l'induit et le courant résultant est AE, soit 129 ampères. A ce courant correspond à vide la tension de 2 540 volts, c'est-à-dire que la chute de tension est de 13,5 p. 100. (Pour des pôles non saturés on aurait pour le même cas 30 p. 100.)

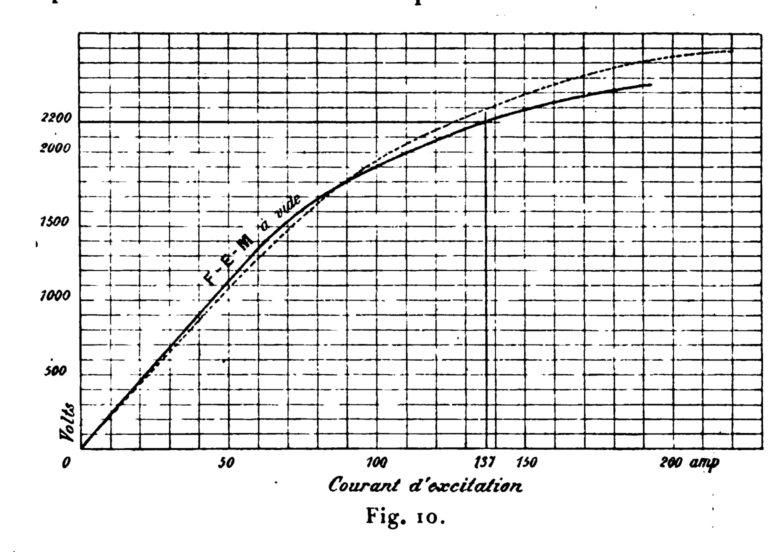


Fig. 10.

La figure 9 donne la chute de tension pour une charge non inductive : elle est ici de 6 p. 100. (Pour des pôles non saturés elle serait de 10 p. 100.)

La supériorité de machines saturées devient évidemment d'autant plus grande que l'entrefer admissible peut devenir plus petit, c'est-à-dire d'autant plus que la proportion de travail d'excitation correspondant à la magnétisation du fer est plus grande. C'est principalement pour des petites machines que cela a de l'importance, puisque dans les machines plus grandes on ne peut pas réduire autant l'entrefer.

[1] La chute de tension est pour :

Cos φ	Chute de tension p. 100	(Chute de tension pour des pôles non saturés) p. 100
0,85	12	(20)
1	5	(8)

****

Génératrice de la section belge. 80 tours par m., 42,5 périodes par s.

La courbe de magnétisation est représentée dans la figure 10. La tension normale de 2200 volts correspond à un courant d'excitation de 137 ampères et 80 volts environ à vide. Dans cette machine la saturation est encore plus prononcée, ce qui apparaît en superposant les deux courbes.

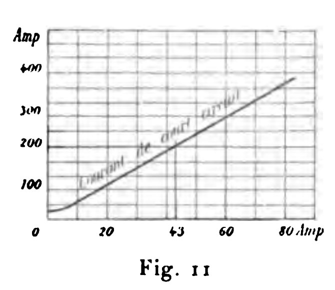


Fig. 11

La figure 11 montre la courbe de court-circuit dans laquelle au courant normal de 200 ampères correspond un courant d'excitation de 43 ampères. La dispersion magnétique trouvée était ici de 230 volts pour 200 ampères. Les figures 12 et 13 montrent les diagrammes construits de la même façon que ceux de la première machine.

La chute de tension est pour :

Cos φ	Chute de tension p. 100.	(Chute de tension pour des pôles non saturés p. 100.
0,85	10,5	(20)
1	4	(8)

Ces résultats sont concluants, lorsque l'on considère la faible excitation de la machine. Le rapport entre les ampèretours de l'excitation et de l'induit ou, ce qui est la même chose, entre le courant en court-circuit et le courant normal est une constante très connue et employée à juger des qualités d'une machine au point de vue de la chute de tension. Ici ce rapport est seulement 3,2, tandis qu'on demande généralement une valeur de 4-5.

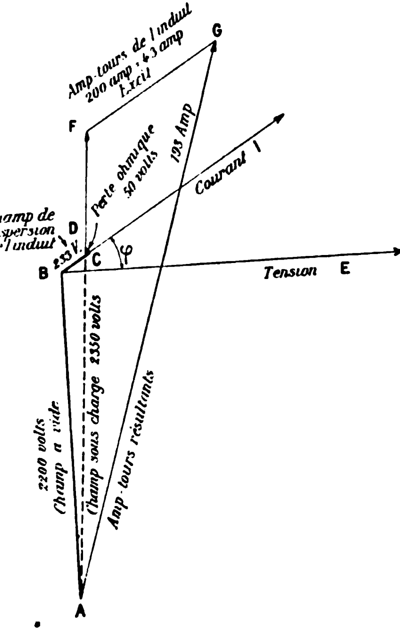


Fig. 12.

Cette constante perd donc actuellement sa raison d'être, puisque l'on arrive à une chute de tension réduite par l'emploi d'une forte saturation des pôles non encore atteinte dans des machines de ce genre, bien que ce rapport n'y soit pas vérifié.

Les constructeurs savent fort bien que les dimensions d'une génératrice dépendent beaucoup plus du rapport entre les ampèretours de l'induit et de l'excitation (rapport dont nous venons de parler) que de la puissance même de la machine. L'enroulement de l'induit occupe relativement peu de place et peut être augmenté très facilement (en augmentant les dimensions des rainures); et la puissance d'une machine croissant proportionnellement au nombre d'ampère tours de l'induit, il est possible d'augmenter de beaucoup la puissance d'une machine de grandeur usuelle. C'est là le grand avantage du procédé employé.

Fig. 13.

Alexandre Heyland,
Ingénieur-Conseil.

ACCUMULATEURS B. G. S. (1)

Les accumulateurs que construit la Société des Voitures électriques et accumulateurs, système B. G. S. (Bouquet, Garun, Schivre), sont spécialement destinés aux automobiles électriques. La description de ces éléments a déjà était faite ici (2). Nous y renvoyons le lecteur, en rappelant seulement que les plaques sont constituées par des grilles à larges alvéoles en forme de losange qu'on remplit de matière active.

D'après les dernières données du constructeur, les principales constantes relatives à ces éléments seraient les suivantes, rapportées à un élément d'un poids total de 16,9 kg :

Type d'élément			V_{29} (Série V)
Nombre de plaques			14 + et 15 —
Dimensions d'encombrement d'un élément (connexions comprises) en millimètres.	longueur		207
	largeur		112
	hauteur		290
Poids de plaques, en kg		0,39.29 =	11,31
Poids total de l'élément, en kg			16,90
Capacités aux différents régimes	10 heures	260 amp.-h.	à 26 amp.
	5 »	230 »	46 »
	3 »	202 »	67,3 »

Si on rapporte au kilogramme de plaques, les différentes capacités annoncées ici, on trouve :

Durée de la décharge en heures	Intensité massique en amp. kg : de plaques	Capacité massique en amp.-h. : kg de plaques
10	2,295	22,95
5	4,065	20,32
3	5,95	17,85

Rapportés à l'unité de poids d'élément, ces chiffres deviennent :

Durée de la décharge en heures	Intensité massique en amp. : kg d'élément	Capacité massique en amp.-h.: kg d'élément
10	1,54	15,38
5	2,72	13,61
3	3,98	11,95

Ce même type de plaques sert également à la confection d'accumulateurs pour l'allumage des moteurs. Nous avons résumé dans le tableau suivant les principales constantes relatives à un élément de ce type.

Type d'élément			A11	
Nombre de plaques			5 + et 6 —	
Dimensions d'encombrement de l'élément, en millimètres (connexions comprises).	longueur		110	
	largeur		78	
	hauteur		170	
Poids total d'un élément, en kg			3,275	
Dimensions d'encombrement d'une boite de deux éléments, en mm (toutes saillies comprises).	longueur		130	
	largeur		179	
	hauteur		190	
Poids total de la boite de deux éléments, en kg			7,8	
Capacités aux différents régimes	166 heures	83	amp.-h.	à 0,5 amp.
	10 »	47	»	4,7 »
	5 »	41	»	8,2 »
	3 »	36	»	12,0 »

(1) Exposées au Champ-de-Mars, automobiles électriques.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. XX, p. 94, 22 juillet 1899.

En rapportant ces capacités au kilogramme d'élément, on trouve

Durée de la décharge en heures	Intensité massique en amp.: kg d'élément	Capacité massique en amp.-h.: kg d'élément
166	0,153	25,32
10	1,435	14,35
5	2,500	12,50
3	3,670	11,00

le premier régime seul étant intéressant dans le cas de l'application à l'allumage des moteurs d'automobiles. L.-JUMAU.

SUR UN

NOUVEL ALLIAGE POUR ÉTALON DE RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE

Le numéro du mois de juin 1900 de *Zeitschrift für Instrumentenkunde* contient un exposé des importantes recherches métrologiques, qui ont été instituées, pendant la période février 1899-février 1900, à l'Institut physico-technique de l'Empire allemand, à Charlottenbourg. Parmi ces travaux, figure (page 174) l'étude d'un alliage composé surtout de cuivre, zinc et aluminium, qui paraît posséder, pour la confection des étalons de résistance électrique, des qualités supérieures à celles du constantan et de la manganine. Cet alliage est dénommé ooo par le fabricant M. L. Kulmiz, à Achenrain, en Tyrol; il a l'aspect du laiton.

Un alliage pour étalon de résistance électrique doit satisfaire aux conditions suivantes :

1° Il faut qu'il ait une résistivité spécifique élevée et un coefficient de température autant que possible nul, surtout aux environs de 18° C.;

2° Il ne peut donner lieu, en combinaison avec le cuivre ou le laiton, à une force électromotrice thermo-électrique assez notable pour nuire aux mesures,

Enfin 3° sa résistance électrique ne doit pas varier avec le temps.

Les deux premières propriétés peuvent être examinées successivement, mais l'étude de la dernière exige que la résistance électrique soit mesurée, après un temps suffisamment long. C'est pour cette raison qu'il est actuellement encore impossible d'affirmer si l'alliage ooo doit être préféré ou non au constantan et à la manganine. Les renseignements que nous donnons ci-après nous ont été obligeamment communiqués par M. L. Kulmiz et résultent des mesures faites à l'Institut de Charlottenbourg.

Le poids spécifique de l'alliage, en fil, a varié entre 8,016 et 8,076 gr : cm³. La résistivité électrique à 15° C a été trouvée comprise entre 51,69 et 54,08 microhms-centimètre, suivant les échantillons examinés, tandis que le coefficient de température entre 18° et 25°, toujours très petit et négatif, restait entre les limites — 0,00001 et — 0,000002.

Des mesures de résistances électriques, faites entre — 4° et + 60° C. ont montré que l'alliage présentait un maximum de résistance électrique dans les environs de 20° C.; aux basses températures, le coefficient de température a une faible valeur positive, et, aux températures plus élevées, ce coefficient reste petit, mais est négatif.

La force électromotrice thermo-électrique de l'alliage ooo, en combinaison avec le cuivre, est de 0,56 microvolt entre 20° et 45° C et de 0,62 microvolt entre 20° et 65° C,



pour une différence de 1° entre les températures des soudures. Cette force électromotrice est donc extrêmement faible, et même plus petite que celle fournie par le couple manganine-cuivre. Cette dernière a pour valeur 1,3 microvolt environ, alors que l'élément constantan-cuivre fournit, dans les mêmes conditions, 40 microvolts environ.

Il résulte de ces données que le nouvel alliage présente des propriétés qui peuvent le rendre souvent très utile dans les laboratoires et qu'il mérite d'être étudié, au point de vue de la constance de la résistance spécifique.

ED. VAN AUBEL.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

ACCUMULATEURS ET DISTRIBUTION

Sur la charge des accumulateurs à potentiel constant, par **C. Heim**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXI, nos 14 à 25, 1900.

M. Heim a entrepris en 1898-1899 un certain nombre d'expériences sur la charge à potentiel constant; nous résumerons ici les plus importantes de ce long travail.

Les accumulateurs expérimentés étaient à décharge rapide et sortaient de deux fabriques allemandes différentes : le type désigné par la lettre A renfermait des positives à grande surface possédant un grand nombre de nervures minces, formées en Planté ; les négatives étaient à grilles à mailles étroites. Le type désigné par la lettre B contenait des positives et négatives semblables, composées d'une âme munie d'un grand nombre de saillies sur ses deux faces et empâtées de plomb finement divisé qu'on comprimait, puis formait.

Nous avons résumé dans le tableau suivant les principales constantes de ces deux types d'éléments.

	A	B
Type de plaques positives	Planté	Faure
» » négatives	Faure	Faure
Nombre de plaques positives	3	4
» » négatives	4	5
Dimensions des plaques en millimètres — hauteur	185	260
Dimensions des plaques en millimètres — largeur	170	118
Dimensions des plaques en millimètres — épaisseur des positives	12	6 à 7
Dimensions des plaques en millimètres — » des négatives		5
Surface totale apparente des plaques positives en dm²	18,9	24,5
Volume de l'acide, en litres	6,85	6,85
Densité de l'acide	1,215 (25,6°B)	1,151 (19°B)
Poids total d'électrodes, en kg	15,8	14,56
Capacités en amp.-h. données par les constructeurs — au régime de 3 heures	69 a-h. à 23 amp.	66 a-h. à 22 amp.
Capacités en amp.-h. données par les constructeurs — au régime maximum de 1 heure	49 a-h. à 49 amp.	46 a-h. à 46 amp.
Intensité maxima de charge, en ampères, donnée par les constructeurs	30,5	30

Avant les expériences dont il est ici question, les éléments avaient déjà effectué 50 charges et décharges à des régimes différents.

Les expériences actuelles comportent plusieurs séries successives d'essais dans lesquels on a fait varier les conditions de charge et de décharge. On trouvera dans le tableau ci-dessous la succession de ces séries d'essais.

Charges et décharges à intensité constante. — Le tableau précédent montre que les premiers essais avaient lieu à intensité constante. L'intensité employée correspondait à une charge en 4 heures et une décharge en 3 heures à 3 heures et demie. A la décharge, la densité de courant était 1,22 amp : dm² pour A et 1,06 amp : dm² pour B. Les décharges étaient arrêtées à 1,864 volt pour A et 1,816 volt pour B, valeurs qui correspondaient à une baisse de différence de potentiel de 6 pour 100 de la valeur obtenue quelques minutes après fermeture du circuit

TABLEAU I

NOMBRE DE charges	NOMBRE DE décharges	CHARGE A POTENTIEL CONSTANT — Durée de charge en minutes	Différence de potentiel par élément en volts — type A	type B	Intensité constante à la décharge, en ampères — type A	type B	CHARGE A INTENSITÉ CONSTANTE — Intensité de charge en ampères — type A	type B	Intensité de décharge en ampères — type A	type B	N° de la série d'essais
12	12	—	—	—	—	—	20	23	23	26	1
17	17	90	2,40	2,34	23	26	—	—	—	—	2
3	3	—	—	—	—	—	20	23	23	26	3
8	8	30	2,40	2,34	23	26	—	—	—	—	4
7	7	30	2,40	2,34	46	52	—	—	—	—	5
3	3	—	—	—	—	—	20	23	23	26	6
8	8	90	2,50	2,44	23	26	—	—	—	—	7
6	6	30	2,50	2,44	23	26	—	—	—	—	8
2	2	—	—	—	—	—	20	23	23	26	9
13	13	30	2,50	2,44	46	52	—	—	—	—	10
7	6	10	2,50	2,44	46	52	—	—	—	—	11
3	4	—	—	—	—	—	20	23	23	26	12
3	2	60 et 30	2,50	2,44	46	52	—	—	—	—	13
5	5	—	—	—	—	—	20	23	23	26	14

de décharge dans le cas où celle-ci est faite après un repos de 12 à 14 heures après la charge.

Des 12 charges et décharges ainsi effectuées, il n'y a d'intéressant à retenir que les 4 dernières pour lesquelles la capacité normale était obtenue. Les résultats de ces essais sont exprimés dans le tableau II :

TABLEAU II

Numéro	CHARGE (A à 20 ampères, B à 23 ampères) — Diff. de pot. moyenne en volts — A	B	Amp.-heures — A	B	Watts-heures — A	B	DÉCHARGE (A à 23 ampères, B à 26 ampères) — Différence de potentiel moyenne en volts — A	B	Amp.-heures — A	B	Watts-heures — A	B	Pause avant l'essai en minutes — A	B
62	—	—	—	—	—	—	1,961	1,908	72,5	86,2	142	157,3	565	565
63	2,304	2,277	78,3	93,1	180,4	212	—	—	—	—	—	—	12	2
63	—	—	—	—	—	—	1,972	1,918	76,3	89,7	150,5	172	11	3
64	2,300	2,261	84	97	193,1	219,3	—	—	—	—	—	—	11	3
64	—	—	—	—	—	—	1,952	1,906	73,2	87,1	142,8	166	675	675
65	2,314	2,288	78	93,2	180,5	213	—	—	—	—	—	—	13	3

L'allure des courbes de charge est donnée par les figures 1 et 2 qui se rapportent à la 62e charge.

Le tableau II montre que la différence de potentiel moyenne à la décharge diminue lorsque celle-ci est faite après une pause. L'inverse se produit à la charge quand c'est la charge qui est effectuée après une pause. Ces phénomènes s'expliquent par la diffusion.

Si on prend la moyenne des valeurs du tableau II, on trouve :

	A	B
Capacité en amp.-h. quand la décharge suit la charge. .	76,3	89,7
Capacité en amp.-h. quand il y a une pause de 10 heures entre la charge et la décharge	72,9	86,6
Rendement en amp.-h. dans le premier cas.	0,94 à 0,95	0,944 à 0,945
Rendement en watts-h., dans le premier cas.	0,806 à 0,811	0,777 à 0,797
Rendement en amp.-h., dans le deuxième cas.	0,903	0,916
Rendement en watts-h., dans le deuxième cas.	0,765	0,767

L'élément B perd donc, d'après cela, moins que A pendant les périodes d'isolement.

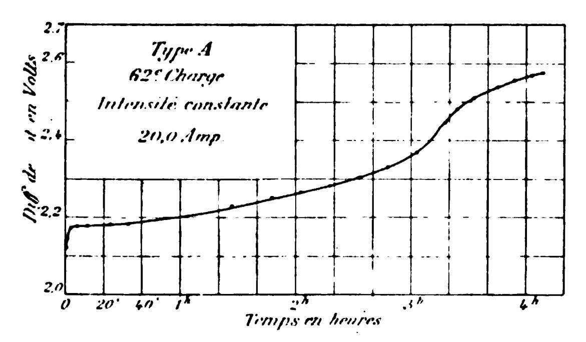


Fig. 1.

L'auteur a aussi déterminé les variations de

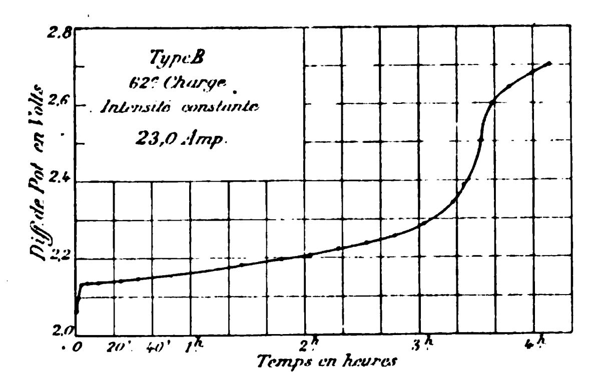


Fig. 2.

densité d'acide pendant ces essais, celle-ci était à la fin de la charge

1,225 à 21°,5 C pour A

et

1,1715 à 21°,5 C pour B.

Après une pause de 10 à 12 heures à la fin de la charge, la densité remontait par suite de la sortie des pores de la matière active d'une petite quantité d'acide, et atteignait

1,2315 à 17°,8 C pour A

et

1,1730 à 19° C pour B.

A la fin de la décharge, la densité baissait à

1,2055 à 20° C pour A

et

1,1455 à 20°,7 C pour B.

Des expériences ont été faites également pour déterminer la densité fin charge en différents

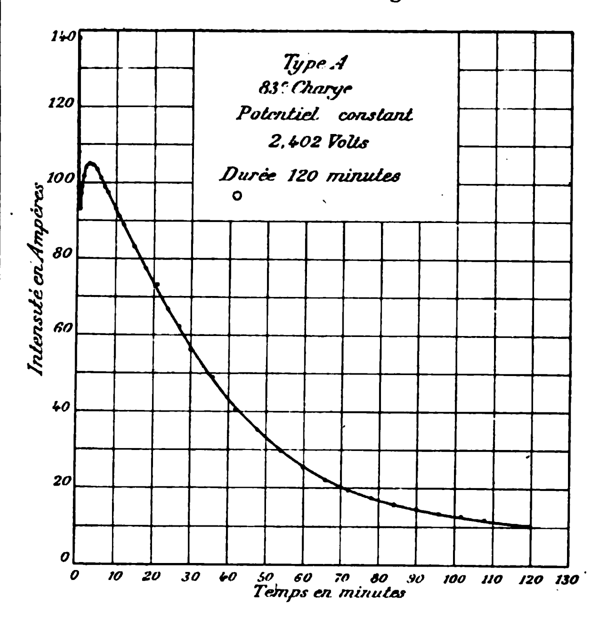


Fig. 3.

points de l'élément. On a trouvé les valeurs sui-

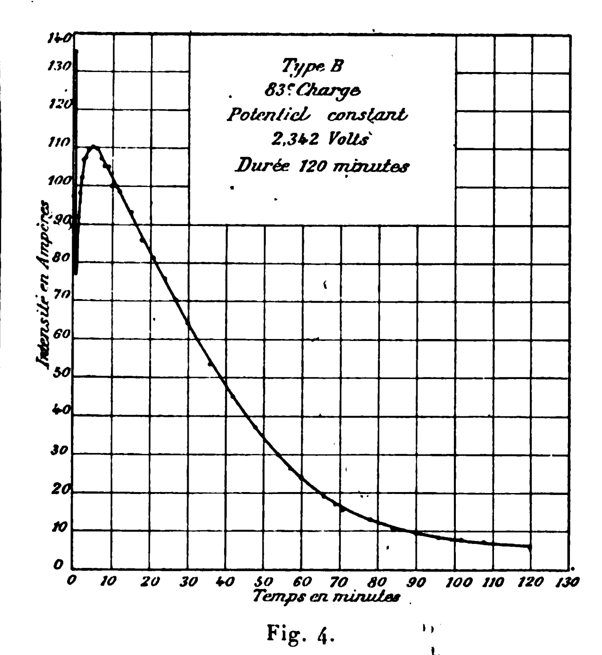


Fig. 4.

vantes, mesurées à 21° C. pour le type A

Entre les plaques (II) au milieu de la hauteur	1,2300
Au fond, à 45 mm du bord inférieur des plaques	1,2575
A 10 mm au-dessus des plaques	1,2239



Charges a potentiel constant (2,40 volts) et décharges a intensit éconstante. — *a. Charges de une heure et demie de durée* — Les différences de potentiel constantes adoptées étaient 2,402 volts pour A et 2,342 volts pour B ; l'écart de 0,06 volt correspondant exactement à la différence des forces électromotrices des deux éléments (on a vu que B avait une densité plus faible que A).

L'allure de la courbe d'intensité de charge est donnée par les figures 3 et 4 qui se rapportent à la 83e charge qu'on a fait durer à dessein 2 heures. On voit que l'intensité très élevée au début. baisse rapidement pour remonter ensuite à un deuxième maximum après lequel la chute se fait régulièrement. Les courbes montrent que le deuxième maximum de B est plus élevé que celui de A, et se produit plus tard ; l'intensité de B reste ensuite plus élevée que celle de A, mais tombe plus rapidement dans la partie moyenne.

On a résumé dans le tableau 3 les principales données de ces différents essais.

Tableau III

Numéro	Charge a potentiel constant (2,402 v. pour A / 2,342 » B) Durée 1 h 30						Décharge a intensité constante (23 ampères pour A / 26 » » B)							
	Intensité moyenne, en ampères		Amp.-heures		Watts-heures		Différence de potentiel moyenne en volts		Amp.-heures		Watts-heures		Pause avant l'essai en minutes	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
77	47,3	53,3	71,9	79,9	172,7	187	—	—	—	—	—	—	10	11
77	—	—	—	—	—	—	1,950	1,898	65,9	74,1	128,5	140,6	810	798
78	45,9	50,8	68,9	76,2	165,1	178,5	—	—	—	—	—	—	11	15
78	—	—	—	—	—	—	1,968	1,912	69	76,7	135,8	146,6	9	9
79	48,9	51,7	73,4	77,6	176,3	181,7	—	—	—	—	—	—	21	24
79	—	—	—	—	—	—	1,946	1,894	64,8	70,6	126,2	133,7	840	843
80	45,5	48,4	68,2	72,6	13,8	170	—	—	—	—	—	—	11	14
80	—	—	—	—	—	—	1,964	1,909	70,15	74,1	137,7	141,5	6	9
81	47,8	50,3	71,8	75,5	172,3	176,7	—	—	—	—	—	—	9	18
81	—	—	—	—	—	—	1,967	1,910	72,45	74,1	142,5	141,5	3	12
82	50,2	50,3	75,3	75,4	180,9	176,6	—	—	—	—	—	—	9	18
82	—	—	—	—	—	—	—	—	67,5	70,2	—	—	669	687

En prenant la moyenne de ces différents essais, on trouve :

		A	B
Capacité en ampères-heures quand la décharge suit la charge		70,5	75
» » quand il y a une pause d'une nuit entre la charge et la décharge		66,1	71,6
Rendement en ampères-heures, dans le premier cas		0,986	0,993
» en watts-heure »		0,812	0,811
» en ampères-heure dans le deuxième cas		0,918	0,948
» en watts-heure »		0,753	0,769
Quantité d'électricité chargée en pour 100	première demi-heure	58,4	59,6
	deuxième »	27,5	28,8
	troisième »	14,1	11,6

La capacité a donc diminué de 8 à 9 pour 100 pour A et de 16 à 17 pour 100 pour B de la capacité obtenue par la charge à intensité constante. Le tableau III montre aussi que la différence de potentiel moyenne à la décharge est plus faible que dans le cas de la charge à intensité constante. En revanche, le rendement en ampères-heures est plus élevé, car ici il y a très peu de dégagement gazeux ; le rendement en énergie n'est pas plus élevé à cause du haut voltage de charge. Le rendemont de B est plus grand que celui de A après pause, ce qui confirme le fait connu déjà que les plaques à couche épaisse de matière active perdent moins que les plaques à grande surface.

b. *Charges d'une 1/2 heure de durée.* — Après

3 charges et décharges à intensité constante dont le but était de ramener les éléments à leur état initial, on effectuait les essais (quatrième série) de charge à potentiel constant, le même que précédemment; mais d'une demi-heure de durée seulement.

Les courbes 5 et 6 donnent l'allure de l'intensité de charge; le tableau IV indique les valeurs principales dans le cas des décharges à 23 et 26 ampères comme précédemment.

Tableau IV

Numéro	Charge a potentiel constant (2,402 v. pour A, 2,342 » B) durée 30 minutes						Décharge a intensité constante (23 ampères pour A, 26 » » B)							
	Intensité moyenne, en ampères		Amp.-heures		Watts-heures		Différence de potentiel moyenne en volts		Amp.-heures		Watts-heures		Pause avant l'essai en minutes	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
91	90,6	92,2	45,3	46,1	108,8	107,9	—	—	—	—	—	—	11	11
91	—	—	—	—	—	—	1,955	1,898	37,4	43,3	73,1	82,3	756	765
92	70,7	80,0	35,4	40,0	84,9	93,7	—	—	—	—	—	—	17	11
92	—	—	—	—	—	—	1,977	—	37,9	42,0	75,1	—	15	3
93	76,2	86,6	38,1	43,3	91,5	101,6	—	—	—	—	—	—	6	8
93	—	—	—	—	—	—	1,981	1,924	40,3	44,6	79,8	85,9	6	9
94	80,8	90,6	40,4	45,3	97,1	106,2	—	—	—	—	—	—	9	8
94	—	—	—	—	—	—	1,984	1,922	41,4	46,3	82,2	89,0	6	9
95	82,3	93,2	41,2	46,6	98,8	109,0	—	—	—	—	—	—	12	7

D'après ce tableau, on obtient pour les valeurs moyennes :

	A	B
Capacité en ampères-heures quand la décharge suit la charge.	39,9	44,3
» » quand il y a une pause d'une nuit entre la charge et la décharge	37,4	43,3
Rendement en ampères-heures, dans le premier cas	1,024	1,008
» en watts-heures »	0,845	0,828
» en ampères-heures dans le deuxième cas.	0,927	1,005
» en watts-heures »	0,755	0,816

Si on compare les capacités à celles obtenues

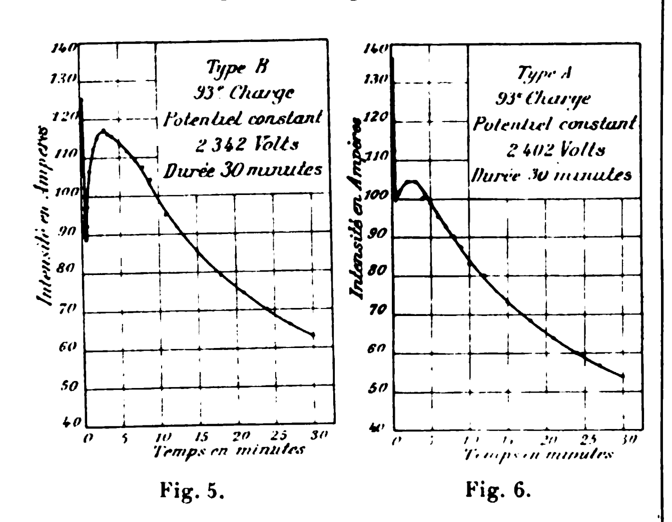


Fig. 5. Fig. 6.

dans le tableau III, on trouve qu'elles sont ici les 57 centièmes pour A et 59 centièmes pour B, ce qui est sensiblement le même rapport que celui de la quantité d'électricité chargée pendant la première demi-heure dans le cas d'une charge totale (58,4 pour 100 pour A et 59,6 pour B).

La 95e charge a été prolongée jusqu'à 1 h 30′ et une décharge suivante après 13 heures de pause donnait 65,2 ampères-heures pour A et 77,2 pour B, valeurs égales à celles obtenues dans le tableau III.

Si on fait des décharges à intensité double (46 et 52 ampères) en conservant les mêmes conditions de charge, on trouve que pendant le premier tiers de la charge l'intensité est plus élevée, mais qu'elle tombe à la fin à une valeur plus basse.

Les essais effectués dans ces conditions sont relevés dans le tableau V. Les décharges étaient arrêtées à 1,78 volt (A) et 1,74 volt (B).

TABLEAU V

Numéro	Charge a potentiel constant (2,402 v. pour A, 2,342 » B) durée 30 minutes						Décharge a intensité constante (46 ampères pour A, 52 » » A)							
	Intensité moyenne, en ampères		Amp.-heures		Watts-heures		Différence de potentiel moyenne en volts		Amp.-heures		Watts-heures		Pause avant l'essai en minutes	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
98	82,2	92,8	41,1	46,4	98,7	108,7	—	—	—	—	—	—	10	9
98	—	—	—	—	—	—	1,892	1,840	32,6	38,1	61,7	70,1	996	1002
99	67,0	76,2	33,5	38,1	80,4	89,2	—	—	—	—	—	—	15	10
99	—	—	—	—	—	—	1,918	1,879	36,4	39,9	69,8	75,0	6	9
100	72,2	81,0	36,1	40,5	86,7	94,9	—	—	—	—	—	—	12	11
100	—	—	—	—	—	—	1,932	1,876	37,5	41,8	72,6	78,5	6	9
101	76,8	84,8	38,4	42,4	92,3	99,3	—	—	—	—	—	—	11	9
101	—	—	—	—	—	—	1,934	1,879	39,1	42,7	75,6	80,3	6	9
102	78,8	86,2	39,4	43,1	94,7	100,9	—	—	—	—	—	—	9	8

Les valeurs moyennes de ces essais sont les suivantes :

	A	B
Capacité en ampères-heures quand la décharge suit la charge	37,7	41,5
» » quand il y a une pause d'une nuit entre la charge et la décharge	32,6	38,1
Rendement en ampères-heures, dans le premier cas	1,007	1,006
» en watts-heures »	0,813	0,807
» en ampères-heures, dans le deuxième cas	0,874	0,902
» en watts-heures, »	0,69	0,708

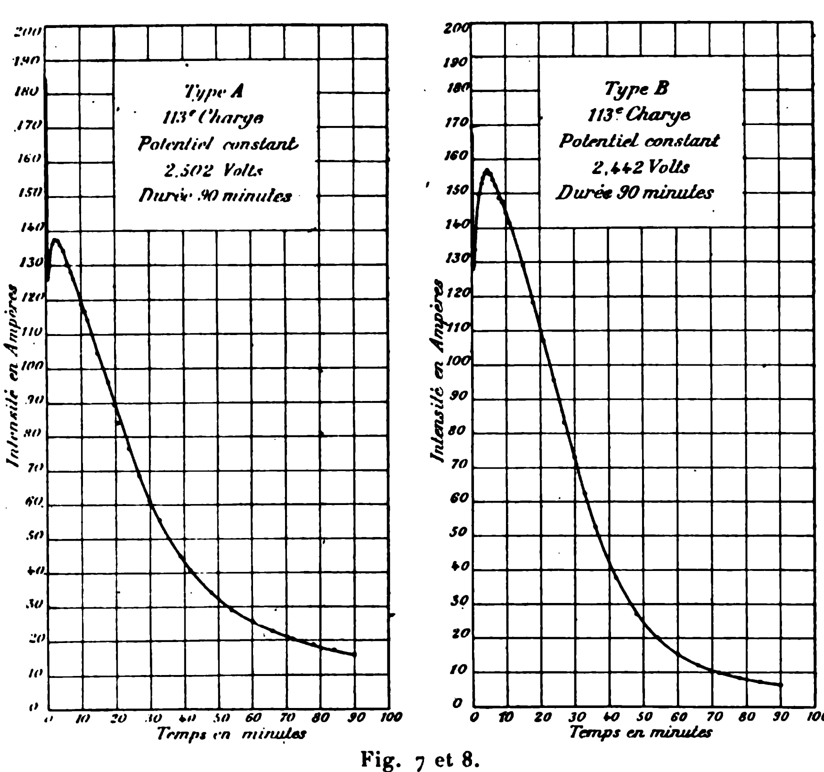


Fig. 7 et 8.

En comparant avec le tableau précédent (IV) on voit que la capacité obtenue ici est environ 94 pour 100. On remarque toujours que A perd plus que B pendant les pauses.

CHARGES A POTENTIEL CONSTANT (2,50 VOLTS) ET DÉCHARGES A INTENSITÉ CONSTANTE. — La différence de potentiel constante maintenue ici était 2,502 volts pour A et 2,442 volts pour B. Dans la septième série d'essais (voir tableau I) la charge à ce potentiel durait 1 h 30′ et la décharge avait lieu à intensité constante, 23 ampères (A) et 26 ampères (B).

L'allure de l'intensité de charge est donnée dans ce cas par les courbes 7 et 8 qui montrent que l'intensité au deuxième maximum est plus élevée de 26 pour 100 (A) et 38

pour 100 (B) de celle obtenue avec charge de même durée à une différence de potentiel inférieure de 0,1 volt. L'intensité finale est au contraire un peu plus faible.

A la fin de la 110e charge, effectuée dans ces conditions, l'intensité fut élevée à 20 ampères (A) et 23 ampères (B) ; la différence de potentiel s'éleva alors respectivement à 2,595 et 2,660 volts, valeurs voisines de celles obtenues fin charge à intensité constante.

Pendant ces charges, on constatait que l'acide se troublait par suite de la présence de peroxyde en suspension ; ce phénomène se produisait principalement pour A et aux premières charges à ce régime. Le dégagement gazeux se constatait dès le début de la charge, il augmentait ensuite et était plus important aux positives.

Dans le tableau VI sont exprimées les principales valeurs obtenues pendant ces essais.

Tableau VI

Numéro	Charge a potentiel constant (2,502 v. pour A ; 2,442 » B) durée 1 h. 30						Décharge a intensité constante (23 ampères pour A ; 26 » B)							
	Intensité moyenne, en ampères		Amp.-heures		Watts-heures		Différence de potentiel moyenne en volts		Amp.-heures		Watts-heures		Pause avant l'essai en minutes	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
111	52,3	56,9	78,4	85,4	196,0	208,3	—	—	—	—	—	—	10	8
111	—	—	—	—	—	—	1,952	1,903	69,0	79,7	134,7	151,7	954	957
112	50,4	55,2	75,6	82,7	189,1	202,0	—	—	—	—	—	—	18	11
112	—	—	—	—	—	—	1,972	1,917	75,5	82,3	148,9	157,8	3	6
113	54,2	56,1	81,2	84,1	203,2	205,3	—	—	—	—	—	—	10	14
113	—	—	—	—	—	—	1,954	1,908	72,1	78,5	140,9	149,7	762	765

Les valeurs moyennes sont les suivantes :

		A	B
Capacité en ampères-heures, quand la décharge suit la charge		75,5	82,3
» » quand il y a une pause d'une nuit entre la charge et la décharge		70,5	79,1
Rendement en ampères-heures, dans le premier cas		0,963	0,987
» en watts-heures, »		0,76	0,775
» en ampère-heures, dans le deuxième cas		0,897	0,948
» en watts-heures »		0,70	0,74
Quantité d'électricité chargée en pour 100	première demi-heure	63,8	72,1
	deuxième »	24,0	22,1
	troisième »	12,2	5,8

On remarque que la différence de potentiel moyenne à la décharge est un peu plus élevée que dans le cas de la charge à 0,1 volt en moins ; mais qu'elle n'atteint pas celle obtenue dans le cas d'une charge à intensité constante.

Le rendement est moins élevé qu'avec la charge à potentiel moins élevé ; mais il est plus grand encore que celui obtenu avec la charge à intensité constante.

Dans la huitième série d'essais, toutes les conditions étaient les mêmes que dans la série précédente, sauf la durée de charge réduite ici à une demi-heure. Le tableau V se rapporte aux valeurs ainsi obtenues.

Les valeurs moyennes sont les suivantes :

	A	B
Capacité en ampères-heures, quand la décharge suit la charge	52	58,3
Capacité en ampères-heures quand il y a une pause d'une nuit entre la charge et la décharge	47,9	57,5
Rendement en ampères-heures, dans le premier cas	1,021	0,989
Capacité en watts-heures dans le premier cas	0,811	0,778
Capacité en ampères-heures dans le deuxième cas	0,966	0,974
Capacité en watts-heures dans le deuxième cas	0,755	0,755

TABLEAU VII

Numéro	Charge à potentiel constant (2,502 v. pour A, 2,442 » B) durée 30 minutes — Intensité moyenne, en ampères		Amp.-heures		Watts-heures		Charge à intensité constante (23 ampères pour A, 26 » B) — Différence de potentiel moyenne en volts		Amp.-heures		Watts-heures		Pause avant l'essai en minutes	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
116	112,3	127,0	56,2	63,5	140,6	155,0	—	—	—	—	—	—	8	9
116	—	—	—	—	—	—	1,954	1,895	49,8	58,1	97,4	110,0	828	837
117	94,2	111,6	47,1	55,8	117,7	136,3	—	—	—	—	—	—	17	4
117	—	—	—	—	—	—	1,979	1,920	51,4	58,1	101,7	111,5	6	9
118	101,1	116,6	50,6	58,3	126,5	142,4	—	—	—	—	—	—	10	7
118	—	—	—	—	—	—	1,982	1,924	52,5	58,5	104,1	112,6	6	9
119	105,1	125,8	52,5	62,9	131,3	153,6	—	—	—	—	—	—	10	9
119	—	—	—	—	—	—	—	—	46,0	56,9	—	—	1032	1026

Les capacités obtenues sont plus élevées de 30 pour 100 que celles données dans le cas d'une

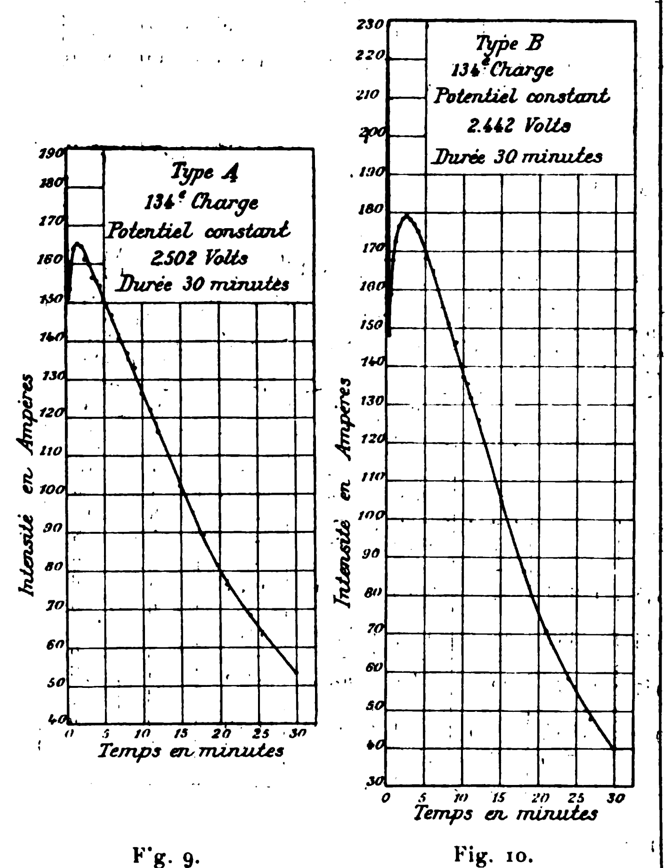


Fig. 9. Fig. 10.

charge à potentiel inférieur de 0,1 volt (voir tableau V).

Le voltage moyen à la décharge n'est pas plus faible que si on chargeait 1 h 30′ (voir tableau VI) par suite d'une plus haute densité de courant à la fin de la charge, qui donne dans les pores de la matière active un acide plus concentré.

L'allure des courbes d'intensité de charge est très sensiblement la même que celle de la première demi-heure de la charge précédente de 1 h 30′ de durée.

Le rendement en quantité est le même que dans le cas de la charge à 0,1 volt en moins ; le rendement en énergie est naturellement plus faible.

Après 2 charges et décharges à intensité constante pour ramener les éléments à leur état initial, était effectuée la dixième série d'essais (tableau I) qui ne différait de la huitième que par l'intensité de décharge doublée ici.

Les figures 9 et 10 donnent l'allure des courbes d'intensité de charge. En comparant aux deux essais précédents, on constate que l'intensité est plus élevée dans la première moitié de la charge, et plus basse dans la seconde.

La moyenne de ces 3 jours d'essais donne

	1er jour	2e jour	3e jour
Type A, ampères-heures chargés	54,4	51,1	51,4
» débités. .	54,8	53,0	52,2
Type B, ampères-heures chargés	62,2	57,4	54,9
» débités. .	61,4	57,0	55,0

L'auteur attribue la baisse progressive de capacité à la formation de sulfate dans la matière active ; cette formation serait favorisée par la charge incomplète de l'élément et par suite par l'absence de dégagement gazeux pour décomposer le sulfate.



La moyenne de ces capacités est 53,3 ampères-heures (A) et 57,8 ampères-heures (B) supérieure de 40 pour 100 à celle donnée par la charge à 0,1 volt en moins (tableau V).

Comme rendement on trouve, quand la décharge suit immédiatement la charge.

	A	B
Rendement en ampères-heures . .	1,014	1,001
» en watts-heures. . . .	0,785	0,773

Les rendements en quantité sont les mêmes qu'avec les décharges à régime moitié ; mais les rendements en énergie sont plus faibles. Il en est de même de ces rendements comparés à ceux obtenus avec charge à 0,1 volt en moins.

La différence de potentiel moyenne à la décharge est aussi plus élevée ici que dans ce dernier cas par suite d'une concentration plus forte d'acide dans la matière active, due à la charge supérieure de 40 pour 100.

Dans la onzième série d'essais, les conditions étaient les mêmes que celles de la précédente série sauf la durée de charge réduite ici à 10 minutes.

Les courbes 11 et 12 qui se rapportent à une telle charge montrent que l'allure de la courbe d'intensité ne diffère pas de celle des 10 premières minutes des charges précédentes effectuées sous la même différence de potentiel. Les valeurs obtenues dans ces essais sont contenues dans le tableau VIII.

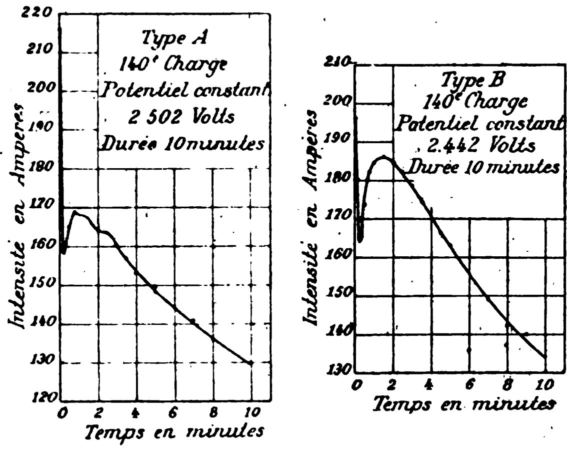


Fig. 11. Fig. 12.

TABLEAU VIII

Numéro	CHARGE A POTENTIEL CONSTANT (2,502 v. pour A / 2,442 » B) durée 10 minutes — Intensité moyenne, en ampères A	B	Amp.-heures A	B	Watts-heures A	B	DÉCHARGE A INTENSITÉ CONSTANTE (46 ampères pour A / 52 » » B) — Différence de potentiel moyenne en volts A	B	Amp.-heures A	B	Watts-heures A	B	Pause avant l'essai en minutes A	B
135	127,2	139,2	21,2	23,2	—	—	—	—	—	—	—	—	12	10
135	—	—	—	—	—	—	—	—	28,2	26,2	—	—	5	8
136	136,2	145,8	22,7	24,3	—	—	—	—	—	—	—	—	8	12
136	—	—	—	—	—	—	—	—	25,3	26,0	—	—	5	8
137	140,4	152,4	23,4	25,4	58,6	62,0	—	—	—	—	—	—	9	9
137	—	—	—	—	—	—	1,945	1,878	24,9	26,9	48,5	50,4	5	8
138	145,2	156,6	24,2	26,1	60,6	63,8	—	—	—	—	—	—	9	8
138	—	-	—	—	—	—	1,944	1,880	25,3	27,7	49,2	52,1	5	7
139	147,6	161,4	24,6	26,9	61,4	65,7	—	—	—	—	—	—	9	6
139	—	—	—	—	—	—	1,947	1,878	25,9	28,0	50,4	52,5	5	8
140	150,6	162,6	25,1	27,1	62,8	66,2	—	—	—	—	—	—	8	7
140	—	—	—	—	—	—	1,945	1,883	26,4	28,1	51,4	52,9	5	6
141	153,0	161,4	25,5	26,9	63,8	65,7	—	—	—	—	—	—	7	3

D'où on déduit les valeurs moyennes suivantes :

	A	B
Capacité en ampères-heures.	25,6	27,7
Rendement en ampères-heures	1,044	1,044
» en watts-heures	0,816	0,804



Les capacités obtenues sont environ les 48 centièmes de celles données par une charge semblable de 30 minutes.

Le rendement est plus élevé que dans l'essai précédent, la charge n'étant ici que le tiers environ de la charge totale. La différence de potentiel moyenne à la décharge est sensiblement la même, pour la même raison précédemment donnée.

Les essais de la douzième série avaient pour but de déterminer si les constantes des éléments avaient varié. Des charges et décharges à intensité constante dans les conditions du début indiquaient une baisse de capacité de 6 pour 100 (A) et 5 pour 100 (B) dans le cas où la décharge suit immédiatement la charge, et de 9 pour 100 (A) et 7 pour 100 (B) dans le cas d'une pause d'une nuit.

Cette baisse doit être attribuée à la chute de matière positive. La différence de potentiel moyenne à la décharge et à la charge est restée la même. Quant au rendement, il est devenu un peu inférieur dans le cas où il y a une pause d'une nuit, et un peu supérieur dans l'autre cas. Pour expliquer cette anomalie, l'auteur suppose que les plaques étaient encore un peu sulfatées au début, ce qui est la cause d'un rendement plus faible dans le cas ordinaire; mais ce qui diminue la sulfatation pendant une pause d'une nuit et par suite augmente le rendement dans ce dernier cas.

Des mesures de densité indiquèrent une augmentation de 2 pour 100 que l'auteur attribue à l'évaporation.

Sur l'allure des courbes de charge et de décharge. — Les courbes 1 et 2 qui se rapportent à la charge à intensité constante montrent que la différence de potentiel croît rapidement au début et très lentement ensuite. C'est que dès les premiers instants de la charge, la matière active se trouve environnée d'une couche acide de plus grande concentration que la concentration moyenne de l'électrolyte. Mais les courants de concentration et la diffusion agissent bientôt pour égaliser les concentrations et il en résulte une concentration à peu près stationnaire ou ne s'élevant plus que lentement dans les pores de la matière active.

Dans le cas de la charge à potentiel constant, le même phénomène se passe au début, et la force électromotrice augmentant rapidement, il en résulte une baisse brusque d'intensité. Pour expliquer le second maximum de la courbe, l'auteur fait intervenir l'influence de la température et de la résistance intérieure.

Dans les premiers instants de la charge, on peut admettre que la concentration dans les pores de la matière active dépasse 30 pour 100 qui est le point de conductibilité maxima et que l'augmentation de résistance intérieure agit avec l'augmentation de la force électromotrice pour faire baisser l'intensité.

La résistance intérieure principale de l'élément résidant dans les canaux étroits de la matière active c'est surtout en cet endroit que l'effet Joule a le plus d'importance. Or par suite de la haute densité de courant du début, il peut résulter une rapide élévation de température en ce point. Si on considère d'autre part que la conductibilité de l'acide s'élève d'au moins 1,6 pour 100 par degré, on peut s'expliquer ainsi que le relèvement de l'intensité provient de cette diminution de la résistance intérieure. Celle-ci est bientôt compensée par l'augmentation lente de la force électromotrice et la courbe d'intensité baisse ensuite progressivement.

Cette hypothèse explique que le second maximum se produit d'autant plus rapidement que la différence de potentiel et par suite l'intensité de charge sont élevées et aussi que les épaisseurs de matière active sont plus faibles car alors l'égalisation de la concentration et de la température se fait plus rapidement. C'est ainsi que les moyennes ont donné pour la charge en 1 h 30'.

Différence de potentiel de charge en volts.

A	B
2,402	2,342
2,502	1,442

Temps après lequel s'est produit le deuxième maxima en minutes.

A	B
3,4	5,5
2,3	4,3

Dans la treizième série d'essais, on a déterminé très exactement l'allure de la courbe d'intensité pour les premières minutes. Les courbes figures 13 et 14 ainsi tracées montrent des irré-



gularités qui proviennent justement des fluctuations de la force électromotrice et de la résistance intérieure.

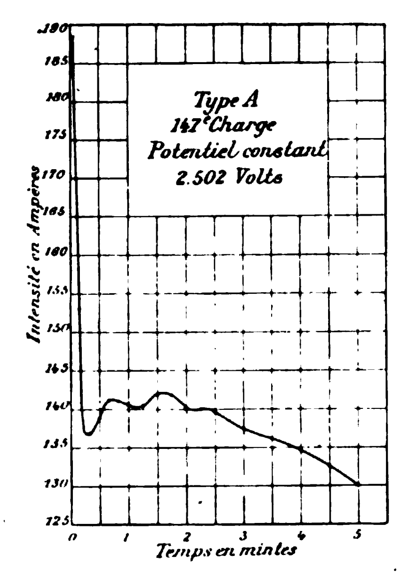


Fig. 13.

L'auteur a étudié également l'allure des courbes de décharge à intensité constante ; celle

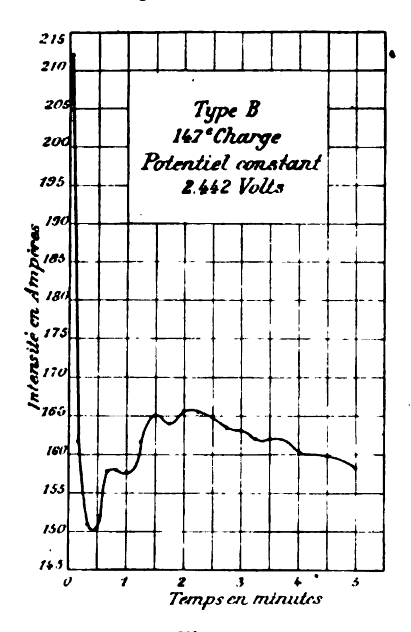


Fig. 14.

de la décharge effectuée dans les conditions normales est connue. Dans le cas où il y a une pause assez longue entre la charge et la décharge, la différence de potentiel descend d'abord rapidement pour remonter ensuite à un second maximum. C'est ce qu'indiquent nettement les figures 15 et 16 dans lesquelles la 149e décharge suivait la charge après 14 heures

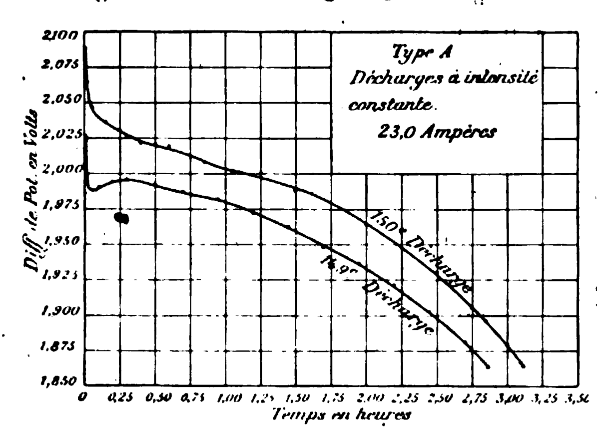


Fig. 15.

d'isolement, tandis que la 150e décharge avait lieu quelques minutes après la charge.

Dans le premier cas, il y a sensiblement égalisation entre les concentrations extérieure et intérieure. Comme il se forme dès le début de la décharge de l'eau dans les pores de la matière active, la force électromotrice diminue d'abord. Mais par suite de l'effet Joule et peut-être aussi par la chaleur de dilution de l'acide

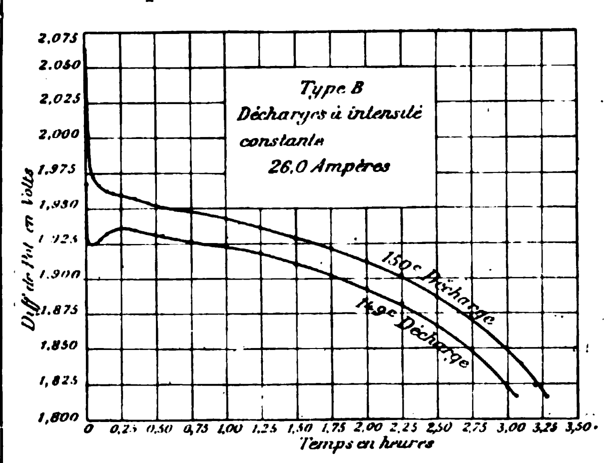


Fig. 16.

sulfurique, la température s'élève dans les pores et il en résulte une diminution de la résistance intérieure et par suite un relèvement de la différence de potentiel. Quand la décharge suit immédiatement la charge, la force électromo-

trice est plus élevée par suite d'une plus haute concentration dans les pores de la matière active. Au début de la décharge. la force électromotrice baisse vite, et comme la température de l'élément étant plus élevée que précédemment, il n'y a pas de variation sensible de température dans les pores, la différence de potentiel baisse constamment.

Sur l'augmentation de l'intensité de charge et de la quantité d'électricité chargée pendant une série d'essais. — On a résumé dans le tableau IX les intensités maxima et les quantités d'électricité chargées pendant les différentes séries de charge à potentiel constant.

Ce tableau montre pour une même série d'essais une augmentation progressive de l'intensité de charge et du nombre d'ampères-heures chargés.

Tableau IX

Séries d'essais		Numéro	Intensité maxima	Quantité d'électricité	Numéro	Intensité maxima	Quantité d'électricité	Numéro	Intensité maxima	Quantité d'électricité	Numéro	Intensité maxima	Quantité d'électricité	Numéro	Intensité maxima	Quantité d'électricité
			ampères	amp.-h		Ampères	Amp.-h.		Ampères	Amp.-h.		Ampères	Amp.-h.		Ampères	Amp.-h.
2°	type A	80	101,6	68,2	81	107,5	71,8	82	111,1	75,3	—	—	—	—	—	—
	» B	80	108,6	72,6	81	111,9	75,5	82	114,2	75,4	—	—	—	—	—	—
4°	» A	92	95,0	35,4	93	104,5	38,1	94	109,1	40,4	95	110,8	41,2	—	—	—
	» B	92	100,8	40,0	93	117,3	43,3	94	122,6	45,3	95	117,0	46,6	—	—	—
8°	» A	117	132,0	47,1	118	142,4	50,6	119	147,4	52,5	—	—	—	—	—	—
	» B	117	150,0	55,8	118	162,0	58,3	119	165,2	62,9	—	—	—	—	—	—
10°	» A	130	134,4	45,5	131	148,6	49,6	132	156,4	51,0	133	162,2	52,2	134	165,2	53,0
	» B	130	150,0	53,0	131	166,0	55,0	132	172,6	55,0	133	177,6	55,1	134	179,0	54,3
11°	» A	135	134,4	21,2	136	147,4	22,7	137	154,4	23,4	138	160,0	24,2	139	164,6	24,6
	» B	135	146,8	23,2	136	159,2	24,3	137	169,6	25,4	138	178,0	26,1	139	182,0	26,9

Pour expliquer ces faits, C. Heim étudie les variations de température dans le cours des différents essais. La température étant prise entre les plaques et au milieu de la hauteur, il trouve pour la dixième série d'essais.

Numéro de la charge	Température en degrés C. A	B	
130	18,5	18,3	au commencement de la charge.
	23,1	22,7	à la fin de la charge
131	25,9	26,1	»
132	27,5	28,0	»
133	28,9	29,3	»
134	30,0	30,2	»

et pour la variation pendant le cours d'une charge de 1 h 30′ de durée, à 2,50 volts, pour A.

Temps depuis le début de la charge en minutes	Intensité en ampères	Température en degrés C.
0		19,8
12	114	23,1
24	76	24,9
36	50	25,3
48	34	25,3
60	25	24,8
72	20	24,5
90	16	24,1

la température extérieure étant 17°,3 C.

A l'élévation de température ainsi constatée pour une série d'essais doit correspondre une diminution de la résistance intérieure. En prenant comme coefficient de température de l'acide 1,5 pour 100 et une différence de 11°,5 C, on trouve que la résistance intérieure doit diminuer de 17 pour 100.

Or le tableau IX nous montre pour la dixième série d'essais une augmentation de l'intensité maxima, de 23 pour 100 (A) et 20 pour 100 (B). Ces valeurs sont concordantes surtout si on tient compte que les variations de température dans les pores de la matière active sont plus élevées que celles de l'acide intermédiaire.

L'élévation de température pouvait, il est vrai, agir en sens inverse par suite d'une augmentation de la force électromotrice, mais cette action est très faible puisqu'en supposant avec Streintz une augmentation de 0,0003 volt par degré, on n'obtiendrait pour l'augmentation 11°,5 C. de température qu'une diminution de l'intensité de 0,8 pour 100.

En étudiant d'autre part la force électromotrice des éléments fin charge, l'auteur trouve qu'elle diminue pendant le cours d'une série d'essais. C'est ainsi qu'il trouve les valeurs suivantes :

Numéros des charges		Forces électromotrices fin charge en volts. A	B
10e série	130	2,282	2,246
	131	2,274	2,226
	132	2,268	2,218
	133	2,266	2,212
11e série	135	2,260	2,236
	136	2,250	2,230
	137	2,248	2,224
	138	2,244	2,222
	139	2,242	2,218
	140	2,242	2,220

Cette baisse est explicable par une diminution de la concentrationde l'acide dans les pores de la matière active. On sait en effet que la diffusion est favorisée par une élévation de température. Par conséquent, plus cette dernière sera grande et plus la concentration de l'acide renfermé dans les pores de la matière se rapprochera de la concentration moyenne c'est-à-dire diminuera : d'où diminution de la force électromotrice.

Cette diminution de la force électromotrice concourt, avec l'augmentation de la résistance intérieure, pour augmenter l'intensité de charge et par suite aussi, pour la même différence de potentiel et la même durée, la quantité d'électricité chargée.

Pour les mêmes causes les capacités données à la décharge augmentent dans le cours d'une série d'essais puisque, pour une même différence de potentiel minima, la décharge est poussée plus loin quand il y a augmentation de la température, par suite de la diffusion plus active et d'une diminution de la résistance intérieure.

Pour expliquer l'obtention de rendements en quantité supérieurs à 1 dans le cas où les décharges suivent immédiatement les charges, l'auteur démontre que pendant une série de charges successives au même potentiel et de la même durée, chaque charge est poussée moins loin que la précédente à cause de l'augmentation de température qui fait qu'à la fin de chaque charge l'intensité n'a pas encore baissé à la valeur de la charge précédente. C'est ce qu'indique d'ailleurs l'expérience; pour la onzième série d'essais par exemple, on trouve pour les valeurs successives des intensités fin charge :

A	B
112 amp.	124,4 amp.
119,6	126
122	130,4
124,8	132,8
126	135
129,8	134
129,4	135

C'est un phénomène inverse qui se produit à la décharge ainsi qu'il est expliqué plus haut, et chaque décharge est poussée plus loin que la précédente.

On peut s'expliquer ainsi que quelques décharges successives d'une série puissent donner une quantité d'électricité plus grande que celle des charges qui les précèdent.

C'est aussi principalement à la diminution de température qu'il faut attribuer la baisse de capacité après une pause d'une nuit.

On a vu, dans la dixième série d'essais que la capacité baisse d'un jour au lendemain lorsque les charges successives sont incomplètes et qu'il y a un long repos entre chaque journée d'essais, ce que l'auteur attribue à la formation croissante de sulfate de plomb.

Vérification expérimentale de l'influence de la température. — Afin de vérifier les hypothèses précédentes, C. Heim prit l'élément type A, dans lequel il disposa un serpentin à circulation d'eau chaude de façon à maintenir constante sa température. Dans ces conditions il reprit les charges à potentiel constant 2,50 volts, de 30 minutes de durée et les décharges à 46 ampères et il obtint les valeurs suivantes :

Charges à 2,50 volts.

Numéros	Température en degrés C. moyenne	minima	maxima	Intensité maxima en ampères	Quantité d'électricité en amp.-heure
220	32	30,6	32,8	179,7	53,6
221	30,1	29,5	30,9	170	51,5
222	30,5	29,9	30,7	173,1	52,5
223	30,4	29,6	31	179,2	52,8
224	30	29,6	30,2	176,4	52,9

Décharges à 46 ampères.

Numéros	Température en degrés C. moyenne	minima	maxima	Capacités en amp.-heures
220	29,3	28,5	30,9	53,7
221	29,4	28,9	30	52,1
222	29,6	29,2	30,2	51,7
223	29,9	28,9	30,3	51,7

qui montrent qu'il n'y a plus ici élévation de l'intensité de charge ni de la quantité d'électricité chargée et déchargée. Quant au rendement il atteint pour les 4 dernières charges et les décharges intermédiaires 98 à 99 pour 100.

Conclusions pratiques. — L'auteur termine cette longue étude par quelques considerations sur la durée des plaques et sur l'opportunité de la charge à potentiel constant. Mais comme il compare la charge à intensité constante et la charge à potentiel constant dans des conditions très différentes de durée, nous ne nous étendrons pas sur ces conclusions. qui n'ont pas un grand intérêt.

L. Jumau.

DIVERS

Détermination de la fréquence d'un courant alternatif, par **A. Samojloff.** *Drude's Ann,* t. III, 353-355, octobre 1900.

Un disque divisé en secteurs alternativament blancs et noirs, est eclairé par la lumière d'une lampe à incandescence qu'alimente le courant alternatif. Si on fait tourner ce disque avec une vitesse croissante, il arrive un moment où il parait immobile. La fréquence du courant est égale au nombre de tours que fait alors le disque en une seconde multiplié par le nombre des secteurs noirs. M. L.

Influence d'une élévation de température locale sur la décharge à travers un gaz raréfié, par **J. Stark**, *Drude's Annal.*, t. III, p. 221-243, octobre 1900.

Les mesures effectuées par M. Stark ont porté sur trois tubes à décharges. Ces trois tubes étaient cylindriques : deux renfermaient des électrodes en aluminium, planes circulaires, un filament de lampe à incandescence et deux fils d'aluminium servant de sondes, disposés normalement à l'axe du tube. Dans le troisième tube, les électrodes se réduisaient à des fils et il y avait au lieu d'un, trois filaments de lampe.

Les filaments de lampe servent à produire l'élévation de température locale. La température du gaz dans la région chauffée n'est pas uniforme et n'est pas susceptible d'une détermination exacte. Elle est évaluée d'après l'intensité lumineuse moyenne et la différence de potentiel entre les extrémités du filament.

Le circuit du tube comprend une batterie d'accumulateurs à haute tension, un rhéostat, un milliampèremètre, un téléphone, un commutateur, le tube, un deuxième commutateur après lequel il se ferme sur la batterie.

L'intensité du courant se lit sur l'ampèremètre, pour avoir la différence de potentiel entre les sondes, on les réunit aux armatures d'un condensateur qu'on décharge ensuite à travers un galvanomètre balistique. Cette méthode suppose que la charge du condensateur est constante tant que les conditions restent les mêmes. Cette condition est réalisée quand le courant est continu, c'est-à-dire quand le téléphone ne rend aucun son.

L'élévation de température dans la lumière positive, non stratifiée, augmente l'intensité du courant et abaisse la chute de potentiel.

Si la température n'est pas augmentée, la différence de potentiel diminue avec l'intensité, suivant une fonction linéaire. Quand on élève la température, la diminution devient moins rapide : quand le filament est au rouge clair, la différence de potentiel devient indépendante de l'intensité : à une température plus élevée, elle croît avec l'intensité.

L'élévation de température dans la lueur négative provoque des variations dans le même sens que les précédentes, mais moins prononcées.

Si on élève la température dans la région obscure intermédiaire, l'intensité du courant diminue d'abord quand la température s'élève jusqu'à un certain minimum ; au rouge blanc, elle a repris sa valeur primitive, qu'elle dépasse ensuite de beaucoup quand la température continue à croître. La différence de potentiel s'élève d'abord et ne baisse qu'à de très hautes températures. D'autre part, à toute température la chute de potentiel croît en même temps que l'intensité.

Lorsqu'on veut étudier l'influence d'une élévation de température dans la région cathodique, on ne peut plus employer les cathodes en forme de disque, parce que les filaments de charbon

sont attirés. Pour éliminer au moins pour la plus grande part, cette perturbation, on se sert du troisième tube avec les cathodes filiformes : les fils sont disposés de telle sorte que leur prolongement passe par le centre de la boucle du filament. Mais il n'est plus possible de mesurer la chute de potentiel dans la région chauffée. L'intensité du courant diminue à mesure qu'on élève la température dans la région cathodique obscure.

Dans la lumière stratifiée, l'élévation de température d'une strate positive obscure, fait diminuer l'intensité du courant; l'élévation de température d'une strate lumineuse la fait augmenter.

En résumé, toutes les régions obscures de la décharge se comportent de même vis-à-vis d'une élévation de température; l'intensité du courant croît et la chute de potentiel décroît quand la température s'élève. Toutes les régions lumineuses se comportent aussi l'une comme l'autre, mais différemment des premières. Jusqu'au rouge sombre, la chute de potentiel croît avec la température et l'intensité décroît; la variation augmente d'abord avec la température, puis diminue et paraît changer de signe. La différenciation existe donc plutôt entre la section initiale (du côté de l'anode) et la section terminale (du côté de la cathode) d'une même région qu'entre les deux régions successives. Ces sections extrêmes sont des surfaces de discontinuité des variables qui définissent le courant. M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

Séance du 7 décembre 1900.

M. Pellat présente au nom de **M. Menges**, de la Haye, un ***ampèremètre à champ magnétique réglable***.

Une bobine, munie d'un noyau de fer doux, oscille entre les armatures d'un aimant circulaire. Ces armatures sont fixées aux pôles; pour donner au champ intérieur une valeur variable, on établit une dérivation magnétique constituée par une barre de fer doux qui peut se mouvoir parallèlement au plan de l'aimant. Le noyau, soumis aux actions du magnétisme et de la pesanteur peut prendre un mouvement de très faible amplitude; on règle le champ jusqu'à ce que ce noyau oscille entre ces limites, au lieu de buter contre un des taquets. A ce moment la pesanteur équilibre une force toujours la même, c'est-à-dire que l'induction et le champ extérieur ont une valeur déterminée. Des essais préliminaires ont montré qu'on pouvait obtenir un champ constant à 1 p. 100 près avec des aimants dont l'intensité d'aimantation a varié de 30 p. 100.

M. Villard décrit et fait fonctionner un ***transformateur à haut voltage à survolteur cathodique***.

Aux deux bornes du secondaire d'un transformateur de 50 000 volts efficaces, construit par M. Carpentier, sont reliées, par l'intermédiaire de deux condensateurs, les bornes d'un excitateur. On obtient de 80 à 100 étincelles présentant le même aspect que celles des machines statiques. On pourrait diminuer l'intensité en ajoutant d'autres condensateurs de faible capacité. La dépense d'énergie nécessaire pour obtenir ces étincelles est presque insignifiante; l'intensité du courant primaire reste à peu près la même qu'en marche à vide.

Pour utiliser cet appareil avec des tubes de Crookes, on met en dérivation une *soupape* électrique constituée par un tube à vide très dissymétrique; une des électrodes est une spirale de fil épais, au milieu d'une cavité de grandes dimensions; l'autre est une petite lame portée dans un tube de petit diamètre, qui est encore étranglé en avant de la lame. Le courant ne passe plus, quand cette petite lame tend à servir de cathode; au contraire quand la spirale est cathode, il suffit d'une étincelle de quelques millimètres pour obtenir une décharge qui traverse la soupape. La spirale doit être reliée à la cathode du tube de Crookes.

Cette soupape résiste à 6 000 volts; mais elle n'est pas suffisante, car dès qu'elle est introduite, la tension monte à une valeur double : de 9 cm, la distance explosive monte à 18 cm entre boules et à 24 cm entre pointes. On emploie alors deux

soupapes en série. Peu à peu leur résistance augmente ; les cathodes en spirale déterminent alors sur les parois une fluorescence de même forme et le courant inverse passe en partie dans les tubes de Crookes où il produit, derrière l'anticathode une plage fluorescente aisée à reconnaître ; on fait alors rentrer du gaz dans les soupapes par un osmo-régulateur.

La puissance du transformateur étant bien supérieure à celle dont on a besoin, on peut alimenter plusieurs couples de transformateurs et faire fonctionner plusieurs tubes de Crookes en utilisant l'une ou l'autre demi-période du courant. On peut ainsi, au moyen de deux tubes, obtenir sur un écran fluorescent, deux images qui seront démasquées alternativement par un appareil synchrone.

Les tubes résistants entrent en action beaucoup plus facilement avec la transformation qu'avec une bobine ; les images observées sur un écran fluorescent sont beaucoup moins grises, à égale résistance du tube. C. R.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

Séance du 16 novembre 1900.

Sur l'amélioration des transports en commun à Paris, par **Marcel Delmas.**

Dans cette communication [1] M. Delmas commence par rappeler les critiques qui ont paru dans la presse étrangère sur nos transports en commun ; il en examine ensuite les causes, puis il indique les moyens qui lui paraissent pouvoir remédier aux inconvénients signalés.

La plus importante des critiques est celle qui est relative à la lenteur de nos omnibus et tramways. La vitesse commerciale de nos véhicules est en effet extraordinairement faible comme le prouvent quelques chiffres donnés par le conférencier. Mais suivant celui-ci les compagnies exploitantes ne sont pas entièrement responsables de cet état de choses. La faiblesse de la vitesse commerciale provient surtout du temps perdu aux stations par la remise des correspondances, l'appel des numéros, la difficulté de monter sur les impériales, etc., toutes questions qui dépendent uniquement du cahier des charges et par conséquent du Conseil municipal.

D'autres critiques visent exclusivement les Compagnies, telles sont le défaut d'éclairage des voitures, les démarrages trop lents et l'emploi de trains de plusieurs voitures ; cette dernière critique est d'ailleurs d'autant plus fondée qu'il paraît que le prix de revient du kilomètre-voiture est le même avec deux automobiles rapides qu'avec un train lent.

Une autre critique est la faible capacité de nos moyens de transports. Elle amène le conférencier à comparer la capacité des trois systèmes actuels utilisant des voies ferrées : les tramways de surface, le Métropolitain et le Chemin de fer de ceinture. A propos du Métropolitain M. Delmas fait ressortir à l'aide de chiffres relevés sur la durée des arrêts, les vitesses moyennes, les démarrages, tous les avantages de ce système de transport. Toutefois il lui reproche d'avoir une capacité relativement faible, cette capacité étant actuellement limitée à 6 000 voyageurs par heure et par voie tandis qu'un tramway de surface arrive à transporter 15 000 voyageurs par heure et par voie si la fréquence des départs est suffisante [1].

[1] Etant donné le développement actuel de la traction mécanique dans l'exploitation des transports en commun parisiens, la communication de M. Delmas et les nombreuses observations auxquelles elle a donné naissance constituent en quelque sorte une suite de la discussion sur la traction mécanique à Paris qui eut lieu en janvier 1897, devant la Société internationale des Electriciens, à la suite de la remarquable communication de M. Hillariet à la séance de décembre 1896 de cette Société (*Écl. Élect.*, t. IX, p. 503, 12 décembre 1896, t. X, p. 134, 16 janvier 1897).

Mais si le sujet en discussion était le même, la manière de l'envisager devait être forcément différente à quatre ans de distance. En 1896 les électriciens n'avaient comme bases de leurs discussions que les résultats obtenus dans des villes étrangères, ne pouvant sous aucun rapport être comparées avec Paris ; aussi ne s'agissait-il alors que de rechercher parmi les systèmes de traction appliqués ou proposés, celui qui paraîtrait le mieux convenir sous tous rapports. Aujourd'hui que tous les systèmes de traction sont en application dans ou sous les rues de Paris une comparaison de ces systèmes devenait possible, en se bornant toutefois à ne considérer que quelques côtés de la question, certains autres, comme l'établissement du prix de revient, exigeant des données qu'il serait imprudent de déduire d'une exploitation de quelques mois. C'est ce qu'a fait M. Delmas qui semble ne s'être attaché qu'à la rapidité et la capacité des divers systèmes de transports.

[1] Nous ignorons pour le moment comment M. Delmas établit ces chiffres ; nous y reviendrons s'il y a lieu lorsque sa communication sera publiée *inextenso*.



Quant au Chemin de fer de ceinture, il lui fournit un argument décisif contre le système des trains lourds, longs et rares au profit du système des trains légers, fréquents et à démarrages rapides.

En terminant M. Delmas conclut à la nécessité d'une transformation complète des tramways de surface, pour en augmenter la rapidité et la capacité, au moyen de diverses réformes qu'il énumère, qui visent beaucoup plus le système d'exploitation que le mode de traction, pour lequel cependant les petites automobiles légères s'imposent.

De la discussion qui a suivi cette communication et que nous reproduisons ci-dessous [1] il nous semble résulter cette conclusion que les compagnies exploitantes doivent faire leurs efforts pour augmenter la vitesse moyenne de

---

[1] M. le Président remercie M. Delmas d'avoir apporté à la Société le résultat de ses recherches, il s'associe à la plupart de ses conclusions; toutefois, il pense qu'une comparaison est difficile à faire entre une ville de luxe comme Paris et les villes industrielles des États-Unis et d'Angleterre, où plus que partout ailleurs le temps est de l'argent. Les gens pressés prendront le Métropolitain; quant au public des tramways, qui souvent n'est pas pressé, prendra-t-il jamais les habitudes des Anglais et des Américains ?

M. Georges Marié demande à M. Delmas s'il ne pense pas qu'on pourrait augmenter notablement la puissance de transport du Métropolitain : 1° en portant le nombre de voiture à huit au lieu de quatre ; 2° en allongeant les gares pour permettre de dépasser le nombre de huit voitures.

M. Marié préfère de beaucoup les tramways légers aux tramways à impériale.

M. P. Regnard s'associe complètement aux conclusions de M. Delmas, il est d'accord avec lui en tous les points de son intéressante communication ; il rappelle qu'en plusieurs circonstances il s'est élevé contre tous les projets de Métropolitain souterrain, et a préconisé ce qu'un de nos regrettés présidents avait appelé le Métropolitain à niveau, c'est-à-dire des tramways légers et rapides répandus à profusion.

A ce point de vue l'expérience du funiculaire de Belleville a été tout à fait concluante, car si la traction mécanique a si parfaitement réussi dans la rue de Paris la plus accidentée et la plus tortueuse, étroite en outre et extrêmement fréquentée, il est bien permis d'affirmer qu'elle est, *a fortiori*, applicable partout.

Les perfectionnements récents de la traction électrique par caniveaux souterrains ou au moyen de plots, réduisent à néant les objections des amoureux passionnés de l'esthétique. D'ailleurs, les lignes à trôlet, bien plus avantageuses sous le rapport du prix d'installation, n'offusquent point la vue lorsqu'on a soin d'éviter les fils transversaux de support, comme cela a été fait par exemple sur l'avenue de la République.

Il est incontestable, par exemple, qu'une ligne de tramways à trôlet rendrait de grands services sur les grands boulevards, mais en coûtant bien moins cher que le Métropolitain.

Les pertes de temps énormes dont M. Delmas a donné le désolant tableau, représentent une perte de vie humaine bien autrement considérable que celle causée par les accidents qui se produisent, dont le nombre du reste est loin d'augmenter dans la même proportion que le trafic.

M. Ed. Badois, tout en reconnaissant l'importance des considérations générales qui viennent d'être exposées, croit qu'il faut se garder d'établir des règles absolues sur les chiffres moyens résultant d'exploitations faites dans des villes qui ne sont pas comparables ou même dans des quartiers d'une même ville dont les conditions de topographie et de circulation sont différentes. New-York, ville plate, avec ses grandes avenues parallèles et les habitudes de ses habitants, ne ressemble en rien sous ce rapport à Londres ni à Paris. Ici, il faut tenir compte, dans les quartiers du centre surtout, de la circulation à pied d'une nombreuse population comprenant des femmes, des enfants, des personnes âgées, de celle des fiacres, des camions et autres véhicules, des croisements des rues et autres obstacles, qui ne permettraient pas la succession des tramways à des intervalles aussi rapprochés qu'en Amérique, et qui s'opposent de toute manière aux grandes vitesses préconisées tout à l'heure. Sous ce rapport, le tableau des vitesses moyennes et des durées moyennes des arrêts présenté par M. Delmas, ne semble pas très concluant.

La vitesse de 19 km obtenue au Métropolitain est toute naturelle : la ligne est exclusivement réservée à ses trains, il n'y a pas d'obstacle sur la voie, pas d'arrêt en dehors des stations, aucun retard imprévu. On arrive à 12 km sur la ligne de tramways Bastille-Charenton et à 16 km, paraît-il, sur celle de la place de la République à Romainville ; il ne faut pas attribuer l'obtention de ces vitesses, simplement au peu de durée des arrêts; ceux-ci sont courts parce qu'en dehors des points terminus, ou de quelques autres bien déterminés, il ne descend ou monte que peu de voyageurs en route. Si la vitesse est plus grande qu'ailleurs, c'est surtout parce que les voies parcourues sont peu encombrées, et qu'il y a moins d'arrêts. Le tramway de Romainville longe sur une grande longueur le cimetière du Père-Lachaise et ensuite traverse un quartier excentrique où il y a relativement peu d'habitations, où les fiacres sont rares, et les camions encore plus rares.

Ce sont des conditions tout autres que celles de la rue Lafayette, par exemple, sillonnée de voitures de toutes sortes, qui la suivent ou la traversent, y compris les fardiers de pierre descendant de la Villette. Le mouvement y est excessif; les arrêts sont incessants et plus longs en raison du profil accidenté, et du nombre de voyageurs qui assaillent à chaque fois la voiture. On y atteint pourtant la vitesse moyenne de 9 km à l'heure. Il est douteux qu'un autre système de traction que celui par l'air comprimé puisse satisfaire à ces conditions.

leurs véhicules, non pas par un accroissement de la vitesse de marche qui pourrait accroître le nombre des accidents, mais par une diminution de la durée des arrêts et une augmentation de la vitesse de démarrage.

Aussi n'est-il pas surprenant de voir ce système s'affirmer de plus en plus.

Le funiculaire de Belleville aussi donne tous les bons résultats indiqués par notre collègue Regnard, mais là encore il répond à un besoin spécial et n'est pas entravé dans sa marche par les fiacres ou par le camionnage, qui se garderaient bien de suivre une rue aussi déclive que celle parcourue par ce tramway *sui generis*, qui n'aurait aucune raison d'être dans une rue ordinaire.

En résumé, tout en ayant toujours en vue les principes généraux, il faut tenir compte des conditions de circulation qui en modifient l'application et cela est vrai, surtout à Paris, où ces conditions sont très diverses.

M. L. de Chasseloup-Laubat présente quelques observations sur le travail très intéressant de M. Delmas. Il rappelle qu'il a eu l'occasion d'habiter assez longtemps les Etats-Unis, notamment pendant toute la durée de l'Exposition de Chicago, où il y a eu parfois des foules énormes, puisqu'un jour, plus de 700 000 personnes sont entrées à l'Exposition. Or, cette Exposition, étant loin du centre de la ville, tous les visiteurs y étaient transportés soit par bateaux, soit par tramways, soit par chemins de fer. Il connaît également bien New-York.

Aussi, sans entamer la question des automobiles et de la plate-forme, il demande à faire les observations suivantes sur les tramways et le Métropolitain. M. de Chasseloup-Laubat estime que le système actuel des transports en commun dans les rues de Paris est absolument scandaleux. Il n'y a qu'en France que les gens acceptent de rester ainsi sous la pluie, et de piétiner dans la boue en tenant à la main des numéros et des correspondances, avec le vague espoir de trouver peut-être une place dans un tramway ou omnibus. Ce spectacle est une honte pour une ville comme Paris. C'est sans doute la longue habitude invétérée de se soumettre à l'omnipotence de l'administration, qui fait ainsi tolérer un état de choses absolument intolérable. Avec une organisation de transports en commun qui paraîtrait idéale aux Parisiens, on a vu éclater des émeutes aux Etats-Unis.

Il faut absolument abolir le système des correspondances et des contrôles en station. Le contrôle doit se faire en route.

En ce qui concerne le matériel, il n'est pas douteux que les seules solutions acceptables sont celles qui comportent des véhicules ne contenant pas en eux-mêmes leur force motrice, mais la prenant le long d'une ligne extérieure : c'est dire qu'il faut condamner l'emploi des automotrices sur rails, et n'admettre, au contraire, que les lignes à câble mobile, ou mieux encore, les lignes électriques.

En effet, les automotrices sont beaucoup plus lourdes, toutes choses égales d'ailleurs, que les voitures à câble ou que les voitures électriques. Il en résulte que, pour les premières, les démarrages et les arrêts sont plus lents, et que les accidents sont plus à craindre tant en nombre qu'en gravité.

Mais il convient d'ores et déjà de faire remarquer que le choix du système se lie à la sempiternelle question des abus des pouvoirs publics.

L'automotrice n'est qu'un instrument de transition. L'avenir est évidemment à l'électricité, bien qu'il ne faille pas faire fi des lignes à câbles, qui constituent une excellente solution dans les terrains accidentés : certains quartiers de San Francisco seraient très difficilement habitables sans les lignes à câbles, tant est considérable la pente des rues.

Sans avoir étudié spécialement la capacité de transport du Métropolitain de Paris, M. L. de Chasseloup-Laubat ajoute qu'il paraît bien difficile d'admettre, dans ce qu'on y voit, que l'on ne puisse pas y augmenter l'intensité de la circulation.

Contrairement à ce que l'on pense souvent, il n'y a aucune espèce d'inconvénient, ni au point de vue des démarrages, ni au point de vue des arrêts, à augmenter la longueur des trains, lorsqu'on dispose de freins continus et d'une force motrice très considérable, ce qui est le cas des lignes électriques.

Les solutions à donner aux transports en commun dépendent de la physionomie de chaque ville, des mœurs de ses habitants et de la façon dont l'existence y est organisée.

Il n'est certainement pas exact de prétendre que le public parisien soit indifférent à la vitesse des moyens de transport : la preuve en est dans le succès que le Métropolitain a obtenu, même dans certaines classes qui, par éducation et genre de vie, y paraissaient absolument réfractaires.

Mais, d'un autre côté, le public parisien — ou du moins la partie la plus éclairée du public parisien — ne désire pas voir défigurer notre magnifique cité en la livrant tout entière aux Compagnies de tramways.

Il ne faut pas, en effet, oublier que, lorsque les tramways sont trop rapprochés, la circulation devient presque impossible pour tous autres véhicules que les tramways. C'est ce dont il est facile de se convaincre à Chicago et New-York, certains jours de grande foule ; et pourtant les rues des villes des Etats-Unis sont généralement beaucoup plus larges que les nôtres.

Quant aux parties de New-York (la portion sud-est de l'île de Manhattan) où la largeur moyenne des voies de communication se rapproche de celle des nôtres, la circulation finit par y devenir presque impossible non seulement pour les véhicules autres que les tramways, mais pour les tramways eux-mêmes. Et pourtant New-York a déjà un Métropolitain surélevé.

En fin de compte, malgré les tramways à circulation intensive et le Métropolitain surélevé, la ville de New-York sera probablement forcée d'en arriver à un Métropolitain souterrain, ce qui prouve bien que chaque système répond à des besoins particuliers. Il n'est donc pas exact de dire que les tramways à eux seuls peuvent donner toutes les satisfactions désirables, alors même que l'on admet la possibilité de leur livrer presque entièrement les voies publiques.

Il est presque superflu de faire observer que cette dernière condition impose la substitution de la traction mécanique à la traction animale sur les lignes ou celle-ci existe encore ; de plus,

---

Il convient enfin d'appeler l'attention de la Société des ingénieurs civils de France sur les questions économiques que soulèvent les différentes solutions projetées.

Il est souvent regrettable que l'économie politique soit parfois un peu délaissée chez nous; car, pour l'ingénieur, il ne s'agit pas seulement de produire, mais il faut encore vendre. On doit donc étudier l'accomplissement d'un travail quelconque non seulement au point de vue technique c'est-à-dire du travail considéré en lui-même, mais encore au point de vue économique, c'est-à-dire au point de vue des services que peut rendre l'accomplissement de ce travail.

Dans cet ordre d'idées, il est simplement nécessaire de mettre en lumière deux faits importants :

1° D'abord, ce sont les résultats néfastes qu'a eus, pour les transports en commun à Paris l'attitude des pouvoirs publics — Etat, département, commune. — Un contrôle tracassier, mais non effectif, retarde les progrès sans empêcher les accidents. Le fonctionnarisme est une des plaies de ce pays-ci. En outre les concessions sont trop courtes et les cahiers des charges trop onéreux pour que les Compagnies osent souvent faire des installations adéquates aux besoins actuels ; car les amortissements sont trop considérables pour en permettre l'amortissement dans le temps donné. Enfin les impôts sont ridiculement élevés.

Il ne faut jamais nous lasser de répéter ici, aux ingénieurs civils, cette vérité qui commence seulement à se faire jour dans le public : le fonctionnarisme et les pouvoirs publics sont souvent, en France, les pires ennemis de l'initiative individuelle et du génie civil.

2° Il convient de ne pas oublier que Paris est une ville dont les industries sont en grande partie des industries de luxe. Pour s'en convaincre, il suffit d'étudier les statistiques du commerce parisien. Il faut donc se garder d'enlever, sinon à tout Paris, du moins à certains quartiers, tout ce qui leur donne le caractère d'élégance. Autrement, on atteindrait gravement la prospérité du commerce et de la ville. Déjà, sous l'influence de certaines causes qu'il est inutile d'étudier ici, il n'est pas douteux qu'au printemps, Londres, et en hiver le midi de la France, Rome et le Caire, ont enlevé à Paris une grande partie de cette clientèle riche qui faisait sa fortune. Il faut autant que possible enrayer ce mouvement, c'est-à-dire que, dans l'intérêt supérieur de la Ville de Paris elle-même et du commerce parisien, il convient de rejeter impitoyablement toute solution de transports en commun qui tend à éloigner cette clientèle.

M. Lucien Périssé s'associe aux idées exposées par notre collègue L. de Chasseloup-Laubat; il rappelle qu'il a soutenu une thèse analogue dans le travail qu'il a présenté à la Société avec M. R. Godfernaux sur les transports en commun.

Répondant à l'observation de M. le président, il exprime l'opinion que le public parisien s'habituera, quand on lui en fournira les moyens pratiques, à diminuer les arrêts aux stations ; on l'a constaté dans plusieurs grandes villes de province, notamment à Rouen, où le public circulant dans les rues a plus que quadruplé depuis l'établissement des moyens de transports rapides.

Il souhaite que Paris soit enfin doté de véhicules rapides, légers, fréquents, sans impériale et sans correspondances, sur tous les points de la ville où cela sera compatible avec la circulation.

M. J. Mesureur déclare qu'il est préoccupé des indications données par M. Delmas à propos des tramways; il craint que le système préconisé par notre collègue ne diminue pas le nombre des accidents. Il ne faut donc rien exagérer : les gens pressés prendront le Métropolitain qui est installé en sous-sol et par suite peut aller à 30 ou 25 km à l'heure, mais il ne faut pas entraver les rues avec les véhicules monstres et les véritables trains qu'on voit se répandre un peu trop partout dans Paris.

M. D.-A. Casalonga indique qu'il a été longtemps de l'avis de notre regretté ancien président L. Richard, et de notre collègue Regnard sur la nécessité d'établir des tramways à voitures rapides, mais il a modifié son opinion quand il en a vu journellement les inconvénients. C'est pourquoi il avait avec son regretté camarade et ami C.-A. Faure, présenté à la Société un projet de métropolitain souterrain à plates-formes roulantes et à traction électrique.

Depuis on a établi le système mais en l'air; et tout le monde a pu voir l'application des plates-formes roulantes au transport intensif du public, à l'Exposition; mais la solution sur viaduc métallique vibrant n'est pas à beaucoup près, au centre d'une ville populeuse, aussi pratique que la solution souterraine qui offre de nombreux avantages par rapport au Métropolitain tel qu'il a été exécuté.

M. J. Mesureur est également partisan de la plate-forme roulante, on pourrait en faire probablement une application à niveau ou souterraine sur le boulevard qui doit remplacer les fortifications du côté ouest de Paris.

M. M. Delmas répond aux observations de nos collègues. En ce qui concerne les vitesses moyennes, au sujet desquelles notre vice-président, M. Badois, a présenté des observations, il montre que c'est principalement la durée des arrêts et du démarrage qui en modifie les chiffres et non pas la vitesse propre du véhicule.

Dans le même ordre d'idées, il répond à M. Marié que ce serait une grave erreur que d'augmenter la longueur des trains du Métropolitain, en admettant que ce soit chose facile; par le fait même qu'il y aurait plus de voitures, la durée moyenne des arrêts, qui est de 19 secondes, s'élèverait à 25 ou 28 secondes et plus et la vitesse moyenne commerciale s'en ressentirait évidemment. Or, si le Métropolitain n'allait qu'à 10 ou 12 km à l'heure, personne ne le prendrait.

Quant à la plate-forme roulante, la question semble à M. M. Delmas encore prématurée ; avant d'entreprendre un tel travail il faut s'attacher à faire donner aux tramways la capacité de transport maxima.

M. Georges Marié reste convaincu qu'on sera amené par la force des choses à augmenter de beaucoup le nombre de voitures du métropolitain, quand même il devrait en résulter une augmentation de six à neuf se-

comme il convient que le système mécanique adopté puisse permettre l'utilisation d'une puissance de démarrage considérable, les systèmes dans lesqnels l'énergie est empruntée à une station génératrice en relation constante avec le véhicule, c'est-à-dire les systèmes électriques (à l'exception du système à accumulateurs) sont certainement les plus avantageux.

Quant à la diminution de la durée des arrêts, il résulte des observations de divers orateurs et en particulier de M. Delmas et de M. de Chasseloup-Laubat qu'elle ne pourra être efficacement obtenue qu'en supprimant la « correspondance et les impériales ». Nous sommes également de cet avis.

En ce qui concerne les impériales, il est incontestable que les toitures dont on les a recouvertes dans les automobiles et que les escaliers qui leur donnent accès gênent considérablement la montée et la descente des voyageurs ; nous pourrions ajouter que l'esthétique, intervenue si souvent pour empêcher le développement de la traction par trôlet aérien, réclame impérieusement la suppression des impériales ; peut-on en effet rêver quelque chose de plus laid que les lourdes voitures dont nous a gratifiés la Compagnie générale des Omnibus et vraiment l'aspect de l'avenue Daumesnil n'est-il pas plus agréable malgré la présence des fils de trôlet et de leurs supports que l'aspect du boulevard Sébastopol avec sa file de mastodontes à air comprimé ?

Au sujet de la suppression de la correspondance il nous paraît nécessaire de faire une restriction. La correspondance gratuite présente, à côté de ses nombreux inconvénients, l'avantage de diminuer le prix payé par le public pour se faire transporter d'un point à un autre lorsque ces points ne sont pas reliés par une ligne directe. Cet avantage n'est pas négligeable et il paraît tellement séduisant de prime abord que bien des personnes, cependant très compétentes en matière de traction, voudraient voir introduire le système de la correspondance gratuite dans les villes où il n'existe pas. Le récent Congrès des tramways a montré qu'il avait de nombreux partisans parmi les ingénieurs étrangers et nous nous souvenons avoir lu dans le *Street Railway Journal*, il y a 6 ou 8 mois, un article sur l'exploitation des tramways parisiens dans lequel l'auteur décrivait en termes très élogieux ce mode d'exploitation et en proposait l'introduction sur les réseaux américains. Les ingénieurs parisiens sont d'un avis diamètralement opposé, mais comme le public ne voudra pas admettre que la suppression de la correspondance soit pour lui une cause de surcroît de dépense, il faudra que cette suppression soit accompagnée d'un abaissement à 15 centimes du prix des places. Les nouvelles lignes de traction ont adopté ce tarif, et il faut espérer que l'on saura contraindre la Compagnie générale des Omnibus à en faire autant.

Bien d'autres observations sur des points de détail seraient à noter dans la discussion de la communication de M. Delmas ; nous laissons à nos lecteurs le soin de les relever [1].

condes dans la durée de chaque arrêt; il pense, du reste, que cette augmentation sera inférieure à six à neuf secondes.

M. P. Regnard répond à plusieurs observations présentées. Il estime que la plate-forme mobile en sous-sol serait une solution acceptable, mais son installation est difficile à cause des nombreux obstacles du sous-sol de Paris.

Quant au Métropolitain, tel qu'on l'a fait il ne pourra jamais couvrir ses frais de construction ; le Métropolitain de Londres, qui a été commencé il y a quarante ans, ne donne pas 2 p. 100 du capital engagé. Il faudrait à Paris une ou deux voitures par train où l'on serait debout, mais où pourraient s'entasser ceux qui sont partisans de la vitesse; on n'hésiterait pas à rester debout quelques minutes si l'on était sûr d'avoir toujours de la place et d'aller vite. Du reste, le Métropolitain parisien a eu pour excellent résultat de rendre visible ce besoin latent de vitesse indispensable à la majorité des parisiens pour leurs affaires.

Il faut que les tramways entrent dans la voie tracée par M. Delmas, parce que, comme l'a dit le grand Franklin : « le temps est l'étoffe dont notre vie est faite »; on doit donc l'économiser par tous les moyens possibles.

Ceux qui ont le temps de flâner auront toujours les trottoirs pour le faire; la chaussée doit appartenir à la locomotion rapide ; quant aux carrefours, la circulation des voitures doit y être rapide mais intermittente pour chaque sens de croisement.

M. le Président remercie nos collègues qui ont développé leur opinion, l'amplitude prise par la discussion a montré que M. Delmas a bien fait de porter cette question brûlante à notre tribune et il l'en remercie.

[1] La communication de M. Delmas a été suivie d'une communication de M. Leroux sur les *moteurs autres que ceux à vapeur à l'Exposition universelle;* un compte rendu en est donné dans le *Supplément* de ce numéro.

Le Gérant : C. NAUD.



Tome XXV. Samedi 22 Décembre 1900. 7e Année. — N° 51

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

GROUPE ÉLECTROGÈNE DE 1000 KILOWATTS CAIL ET THOMSON-HOUSTON

La Société française de constructions mécaniques (Anciens Établissements Cail) et la Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston ont exposé un des groupes les plus puissants de la section française. Ce groupe est remarquable surtout pour la façon particulière dont l'énergie produite est fournie à l'Exposition.

Les courants triphasés à faible fréquence produits par l'alternateur Thomson-Houston sont en effet transformés entièrement en courants continus à 550 volts dans deux sous-stations situées l'une aux Invalides, l'autre aux Champs-Elysées.

L'ensemble, générateur et récepteur, constitue un transport d'énergie analogue à ceux qu'installe en ce moment la General Electric C° au Métropolitain de New-York, mais la puissance est ici environ cinq fois moindre.

La photographie de la figure 1 représente l'ensemble du groupe Cail-Thomson ; celle de la figure 2 donne une vue de l'alternateur.

Moteur a vapeur. — Le moteur à vapeur est le plus puissant de la section française. Il est du type Allis vertical compound jumelé à détente Reynolds-Corliss. L'écartement des cylindres est suffisant pour loger entre les deux paliers moteurs la dynamo génératrice calée directement sur l'arbre et le volant.

Les deux socles de la machine (fig. 3 à 5), absolument indépendants, portent chacun l'un des paliers de l'arbre ; ils présentent une grande surface d'appui sur les fondations et assurent au groupe une stabilité parfaite qui rend inutile tout entrecroisement des 2 bâtis verticaux.



Les coussinets moteurs sont de forme sphérique, assurant à l'arbre un portage parfait sur toute leur surface, et évitant ainsi tout risque d'échauffement résultant d'une légère flexion de l'arbre. Par surcroît de sécurité, ces coussinets sont munis d'une enveloppe à circulation d'eau.

Les plateaux manivelles équilibrés sont en fonte spéciale et entièrement polis ; ils sont emmanchés sur l'arbre à la presse hydraulique et clavetés.

Sur les socles sont boulonnés les bâtis verticaux en fonte, de forme circulaire, à large

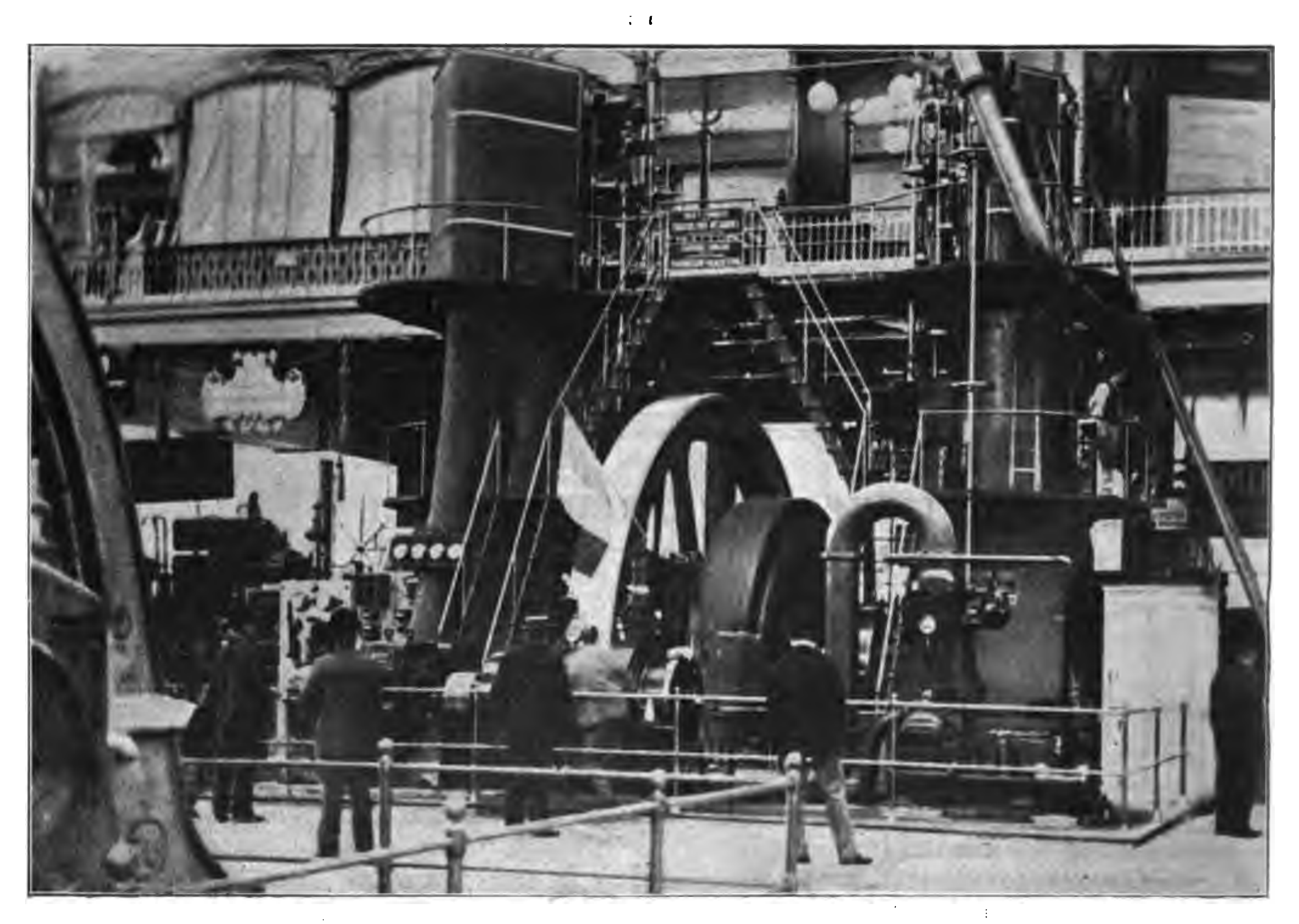


Fig. 1. — Vue du groupe électrogène Cail et Thomson-Houston.

empattement formant avec les socles un ensemble absolument rigide. Les glissières prolongeant la partie supérieure des bâtis sont également de forme circulaire. Les cylindres à vapeur sont munis chacun de 4 obturateurs rotatifs à double orifice et partant à faible course, dont deux pour l'admission de vapeur et deux pour l'échappement. Ces obturateurs, comme le montre la figure 6, sont logés dans les fonds. Les cylindres sont complètement enveloppés de vapeur, aussi bien sur le pourtour que dans les fonds ; ils sont recouverts, ainsi que les tuyaux de communication des fonds, d'une enveloppe calorifuge protégée par une garniture en tôle. Cette garniture est facilement démontable pour permettre, en cas de besoin, la visite ou le démontage des pistons à vapeur. Les tuyaux de communication des fonds sont munis de culottes flexibles en vue de prévenir toute fatigue

des joints résultant des dilatations inégales des divers éléments des cylindres. Les pistons sont construits de telle façon que les segments peuvent être remplacés très facilement sans sortir les pistons des cylindres. Un seul segment de construction spéciale et de grande largeur assure une étanchéité parfaite.



Fig. 2. — Vue de l'alternateur Thomson-Houston en cours de montage.

Le receiver est constitué par un réservoir cylindrique en tôle d'acier disposé transversalement au bâti et supporté par deux consoles ; il renferme, vers le milieu de sa longueur, un faisceau tubulaire chauffé par de la vapeur vive à la pression d'admission du petit cylindre Cette disposition, qui assure à la vapeur d'échappement de ce cylindre une légère surchauffe avant son admission au cylindre à basse pression, est très favorable à une consommation de vapeur réduite. Le receiver est muni, comme le cylindre, d'une enveloppe

calorifuge protégée par une garniture en tôle, réduisant au minimum les condensations dues au rayonnement des parois.

Les bielles motrices sont munies de coussinets en acier moulé indéformables, garnis

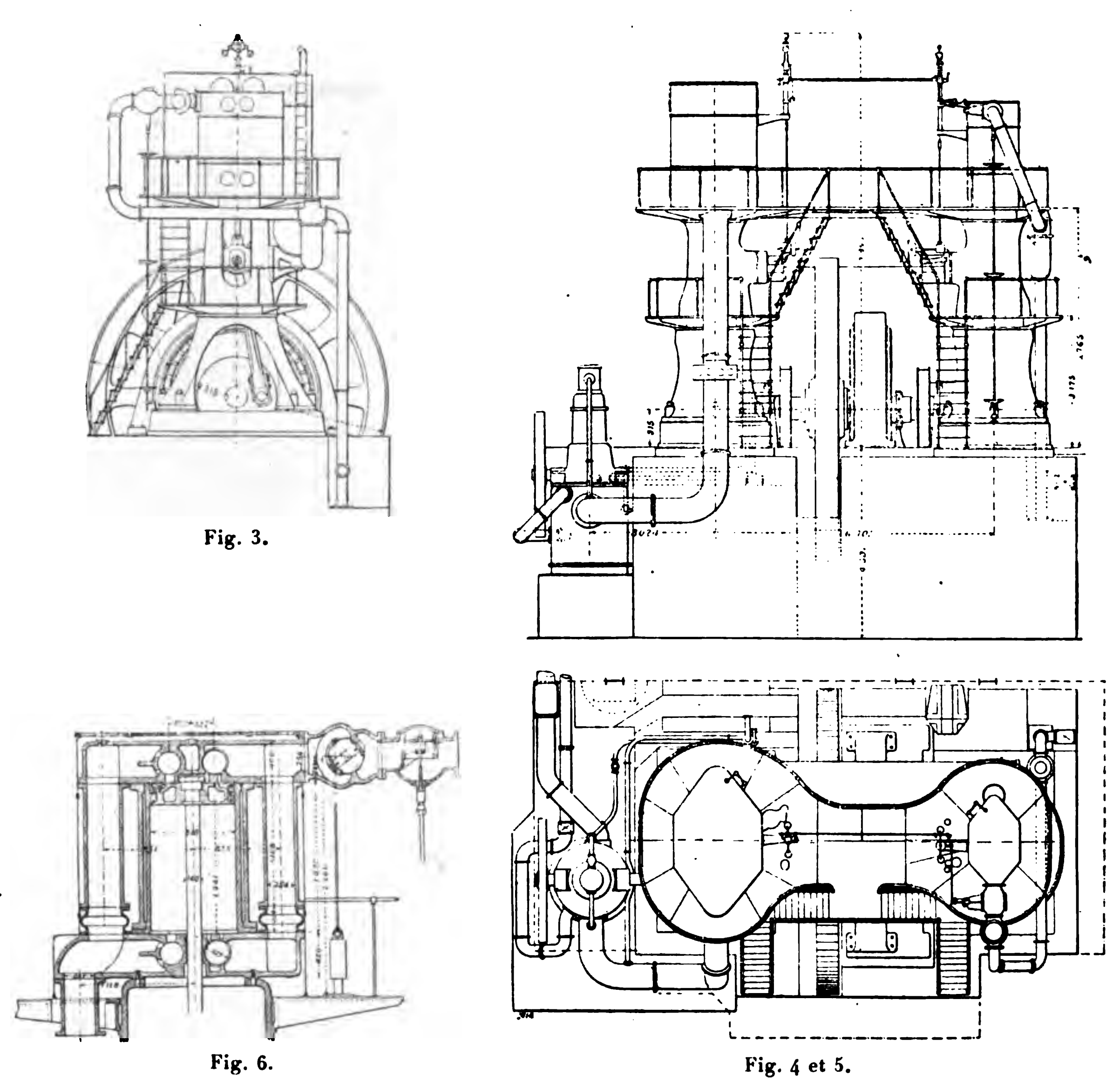


Fig. 3.

Fig. 6.

Fig. 4 et 5.

Fig. 3, 4, 5 et 6. — Elévation latérale, vue de face et vue en plan du groupe Cail et Thomson-Houston. Coupe d'un cylindre.

d'antifriction, avec coins de serrage permettant un réglage très précis. Leur longueur est égale à 5,5 fois le rayon de la manivelle ; ce rapport, rarement atteint dans les machines verticales, assure au moteur un rendement organique élevé, en même temps qu'il atténue, dans une large mesure, les efforts du renversement et les ébranlements consécutifs dus aux réactions d'intensité variable des coulisseaux sur les glissières. Ces coulisseaux sont munis d'un système de rattrapage de jeu qui donne le moyen de conserver à la tige du piston une concordance parfaite avec l'axe de la glissière et du cylindre.

La distribution est du système Reynolds-Corliss dont la Société des Anciens Établissements Cail est la seule concessionnaire en France. Les obturateurs d'admission de chacun des cylindres sont munis d'un mécanisme de déclic composé d'un petit nombre de pièces simples et robustes, à déclanchement progressif.

La distribution de chaque cylindre est actionnée par deux excentriques, ce qui permet de régler séparément l'admission et l'échappement, et de donner le degré de compression nécessaire au fonctionnement sans choc des organes moteurs.

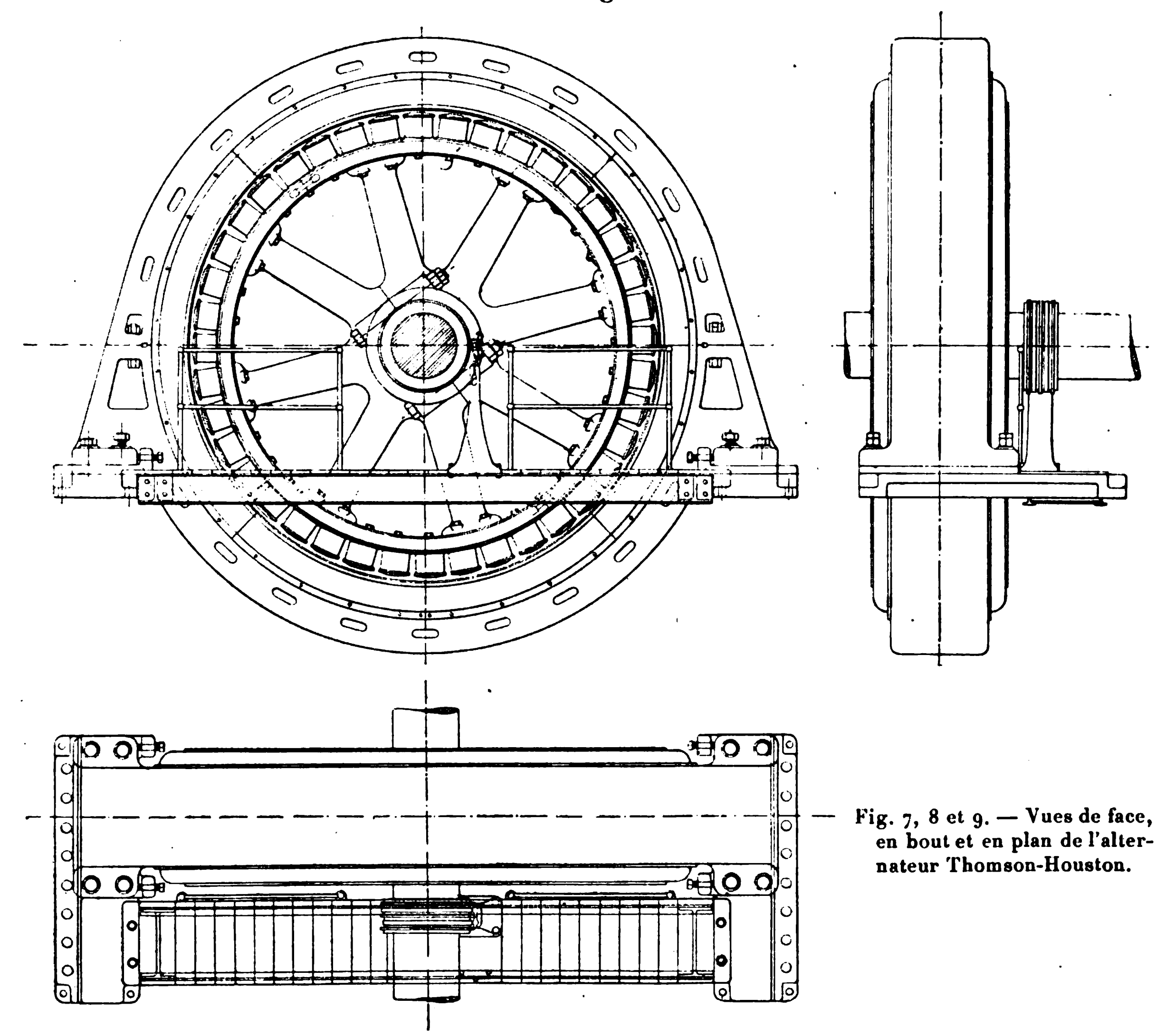


Fig. 7, 8 et 9. — Vues de face, en bout et en plan de l'alternateur Thomson-Houston.

Toutes les biellettes de distribution sont munies de têtes à rattrapage de jeu ; elles sont de longueur facilement réglable, en vue de simplifier la mise au point de la régulation. La machine est munie de deux régulateurs. Le premier ou régulateur de vitesse agit simultanément sur le mécanisme de détente des deux cylindres ; cette disposition assure au régulateur une action très prompte et très énergique sur la machine et réduit ainsi l'amplitude et la durée des périodes d'accélération ou de ralentissement consécutives des variations brusques de la charge.

Le second régulateur n'est qu'un appareil de sûreté. Réglé à un nombre de tours un

peu supérieur au nombre de tours maximum normal du régulateur de vitesse, il agit sur un déclanchement qui produit la fermeture de l'arrivée de vapeur au cylindre à haute pression au cas où la machine tendrait à s'emballer par suite d'une avarie au régulateur de vitesse.

Deux plateformes de service, fixées sur les bâtis et desservies par des escaliers convenablement disposés, permettent une surveillance et un entretien faciles de tous les organes moteurs et distributeurs.

Par mesure de précaution la manœuvre de la soupape de prise de vapeur peut être faite soit du sol, soit de chacune de ces plateformes.

Le graissage des cylindres et de tous les organes en mouvement est assuré par des graisseurs appropriés et peut être effectué et réglé sans qu'il soit besoin d'arrêter la machine.

La condensation de la vapeur d'échappement de la machine est faite dans un groupe automoteur vertical comprenant un condenseur à mélange et une pompe à air disposés en contre-bas du sol, du côté du gros cylindre Le cylindre moteur de ce groupe, placé audessus de la pompe à air, est muni comme les cylindres du moteur principal de quatre distributeurs rotatifs du système Reynolds-Corliss à détente variable par le régulateur. Le régulateur, de construction spéciale, ferme complètement l'admission de vapeur en cas de chute ou de rupture de sa courroie de commande. Le condenseur indépendant ainsi établi est économique et sa dépense de vapeur ne vient grever que dans une proportion infime la consommation propre du moteur principal.

Les dimensions principales et les conditions de fonctionnement de la machine sont les suivantes :

Diamètre du cylindre à haute pression	81,3 cm
Diamètre du cylindre à basse pression	172,6 cm
Course des pistons	122 cm
Nombre de tours par minute	75
Pression initiale de la vapeur	12 kg : cm²
Diamètre de l'arbre moteur dans les coussinets	55,6 cm
Poids total du volant	65 000 kg

Les puissances indiquées aux cylindres à vapeur, correspondant à diverses pressions de vapeur et à divers degrés d'admission, sont données dans le tableau suivant :

1° Avec une pression initiale effective de 12 kg : cm²			
Admission au cylindre à haute pression	0,15	0,25	0.40
Puissance indiquée	1330 chx	2020 chx	3130 chx
2° Avec une pression initiale effective de 10 kg : cm²			
Admission au cylindre à haute pression	0.15	0,25	0,40
Puissance indiquée	1105 chx	1690 chx	2630 chx
3° Avec une puissance initiale effective de 9 kg : cm²			
Admission au cylindre à haute pression	0,15	0,25	0,40
Puissance indiquée	970 chx	1530 chx	2370 chx

Tous les organes de la machine ont été calculés pour une pression initiale effective de 12 kg : cm² et leurs dimensions permettraient de soutenir d'une façon continue, si cela était nécessaire une puissance, indiquée maximum de 3 000 chx correspondant à une puissance aux bornes de la dynamo de 1 750 kws environ.

Avec une pression initiale effective de 9 kg : cm² seulement, la machine pourrait assurer le service de la dynamo de 1 000 kw avec une admission au cylindre à haute pression moindre de 30 p. 100, c'est-à-dire dans des conditions très favorables à l'économie de la vapeur.



ALTERNATEUR. — L'alternateur triphasé de la Compagnie française Thomson-Houston a été construit dans les ateliers Postel-Vinay. Sa puissance est de 1 000 kilovolts-ampères avec un facteur de puissance égal à 0,9.

La tension aux bornes étant de 5 500 volts, et l'enroulement de l'induit étant groupé en étoile, la tension correspondante par phase est de 3 170 volts. L'intensité du courant pour la charge normale complètement wattée est de 105 ampères.

La fréquence est de 25 périodes et la vitesse de 75 tours par minute et le nombre de pôles de 40.

La fréquence très faible de 25 périodes est adoptée généralement maintenant toutes les fois qu'il s'agit d'un transport d'énergie utilisant cette dernière sous forme de courant continu à cause du bon fonctionnement et de la facilité de construction des commutatrices pour cette période.

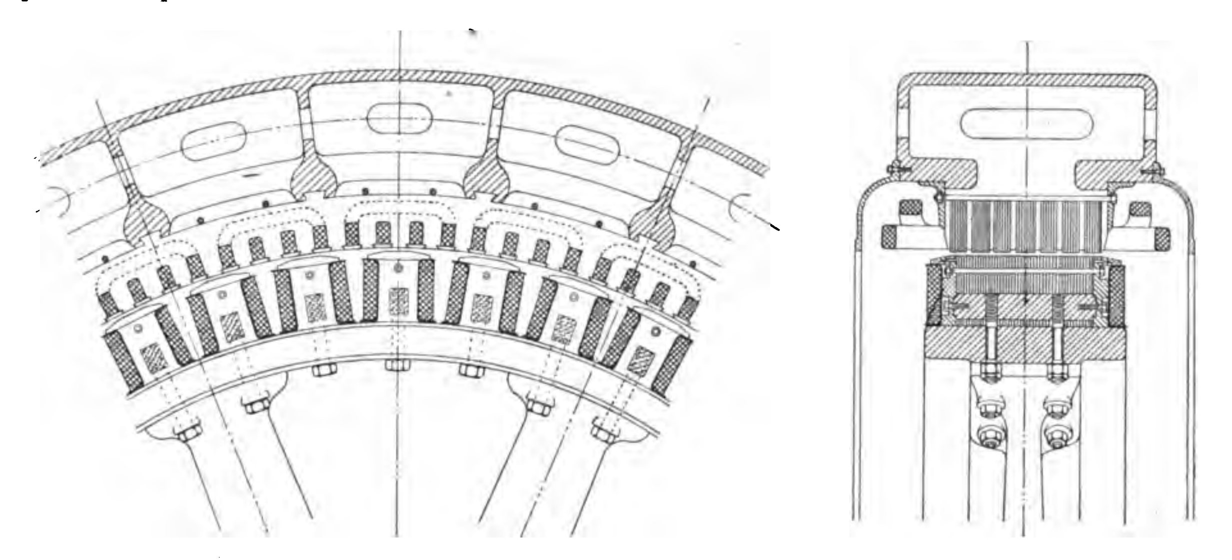


Fig. 10 et 11. — Coupes perpendiculaires à l'axe et suivant l'axe de l'alternateur Thomson-Houston.

L'alternateur a été étudié spécialement dans le but d'utiliser le mieux possible les matériaux au point de vue magnétique ; l'adjonction d'un volant à la machine à vapeur a permis en particulier de réduire au strict minimum le poids de la partie tournante. Ces considérations montrent pourquoi l'alternateur Thomson-Houston, malgré sa puissance élevée et sa faible vitesse angulaire, a des dimensions et un poids beaucoup plus petits que les alternateurs exposés par les autres maisons de construction.

Inducteur. — L'inducteur mobile est constitué par une étoile à 8 branches (fig. 7 à 9) coulée en deux parties assemblées par huit boulons.

A cette étoile est fixée une jante en acier en deux parties réunies par des agrafes posées à chaud sur les faces latérales.

L'entraînement se fait par deux clavettes.

Les pôles inducteurs au nombre de 40, sont formés chacun d'un paquet de tôles feuilletées (fig. 10 et 11) ; ils sont maintenus sur la jante par deux vis venant se fixer dans une barre d'acier de section carrée emmanchée dans un évidement ménagé dans les tôles et maintenue à ses deux extrémités par des plaques en bronze servant en même temps à serrer les tôles inductrices entre elles. Ces tôles sont en outre traversées par un boulon également maintenu par les plaques de serrage.



Les boulons de fixation des pôles qui se trouvent en face des projections des bras de l'étoile traversent ces projections et servent par suite à fixer la jante après elles.

Les épanouissements polaires ont une section trapézoïdale de façon à obtenir une répartition du flux dans l'entrefer aussi sinusoïdale que possible. Les dimensions des épanouissements polaires sont de 41 cm sur 19 cm ou 780 cm^2.

Chaque pôle porte une bobine inductrice formée d'une bande de cuivre isolée, enroulée sur champ sur un mandrin puis glissée sur une carcasse en laiton.

La section de ce ruban est de 38 mm sur 2,3 mm ou 87,5 mm^2 et le nombre de spires alternativement de 67 et de 68.

Toutes les bobines sont réunies en série et les extrémités du circuit inducteur aboutissent à deux bagues de frottement en fonte montées sur l'arbre de la machine et sur lesquelles s'appuient des balais en charbon supportés par des colonnettes qui amènent le courant aux inducteurs.

La résistance du circuit d'excitation est de 0,8 ohm.

Le diamètre de la couronne inductive est de 3,11 cm et le diamètre extérieur de l'inducteur de 3,54 cm.

La largeur de la jante atteint 61 cm, celle des noyaux polaires (tôles seulement) est de 41 cm.

Le poids de l'inducteur de l'alternateur n'est que de 18 000 kg.

La vitesse linéaire à la circonférence de l'inducteur ne dépasse pas 14 m par seconde.

Induit. — L'induit fixe est formé par une sorte d'anneau creux en fonte, coulé en deux parties dont l'une, la partie inférieure, porte deux pattes qui reposent sur deux plaques de fondation le long desquelles elles peuvent être déplacées.

Ce déplacement s'obtient à l'aide de deux écrous fixes un pour chaque support et de deux vis à filets carrés. Ces deux vis n'ont pas une longueur correspondant au déplacement total de l'induit et elles sont beaucoup plus petites, aussi les écrous doivent-ils être déplacés à chaque déplacement d'une longueur de vis.

A cet effet, les écrous portent un goujon qui vient se placer dans des logements pratiques sur les plaques de fondation.

Le réglage de l'entrefer en cas de déplacement éventuel peut être obtenu à l'aide de vis de calage pour le sens vertical et de vis de butée pour le déplacement horizontal.

Les tôles induites de 0,35 mm d'épaisseur portent des queues d'aronde qui viennent se loger dans des rainures pratiquées dans la carcasse. Elles sont serrées entre deux cornières, qui viennent buter contre des épaulements ménagés dans la carcasse, et qui sont réunies entre elles par des boulons ne traversant pas les tôles.

Les tôles sont partagées en paquets de façon à augmenter la surface de refroidissement. Les piles de tôles sont maintenues à la distance voulue les unes des autres par des cales en acier de 10 mm d'épaisseur.

La largeur totale des tôles induites y compris les espaces laissés entre les paquets est de 45,6 cm et leur hauteur radiale de 17,8 cm.

L'enroulement induit est réparti dans 120 rainures à raison de 3 par pôle. Ces rainures ont une profondeur de 81 mm et une longueur de 46 mm. Les dents sont terminées en queue d'aronde de façon à maintenir en place à l'aide de cales en bois les bobines logées dans des tubes rectangulaires en papier huilé et enroulées préalablement sur gabarit.

Les vingt bobines de chaque phase sont montées en série et sont constituées par 25 spires d'un câble simple de 12,2 mm sur 5,8 mm.

La résistance de l'induit par phase est de 0,34 ohm à froid.



Le diamètre d'alésage de l'induit est de 3,556 m et le diamètre extérieur des tôles de 3,912 m. L'entrefer a une valeur de 7 mm.

Le diamètre extérieur de l'induit est de 4,68 m et la largeur totale, y compris deux protecteurs en fonte, de 102 cm.

Le poids de l'induit est de 20 000 kg.

La ventilation de l'induit est obtenue par des voies ménagées sur les faces de la carcasse, sur les cloisons qui supportent les tôles et sur la surface intérieure de la carcasse.

Excitation. — Le courant d'excitation de l'alternateur est fourni par une petite dynamo Postel-Vinay accouplée directement à un moteur à vapeur Boulte, Larbodière et Cie.

La puissance de cette dynamo est de 20 kilowatts à la vitesse angulaire de 350 tours par minute. La tension normale est de 125 volts.

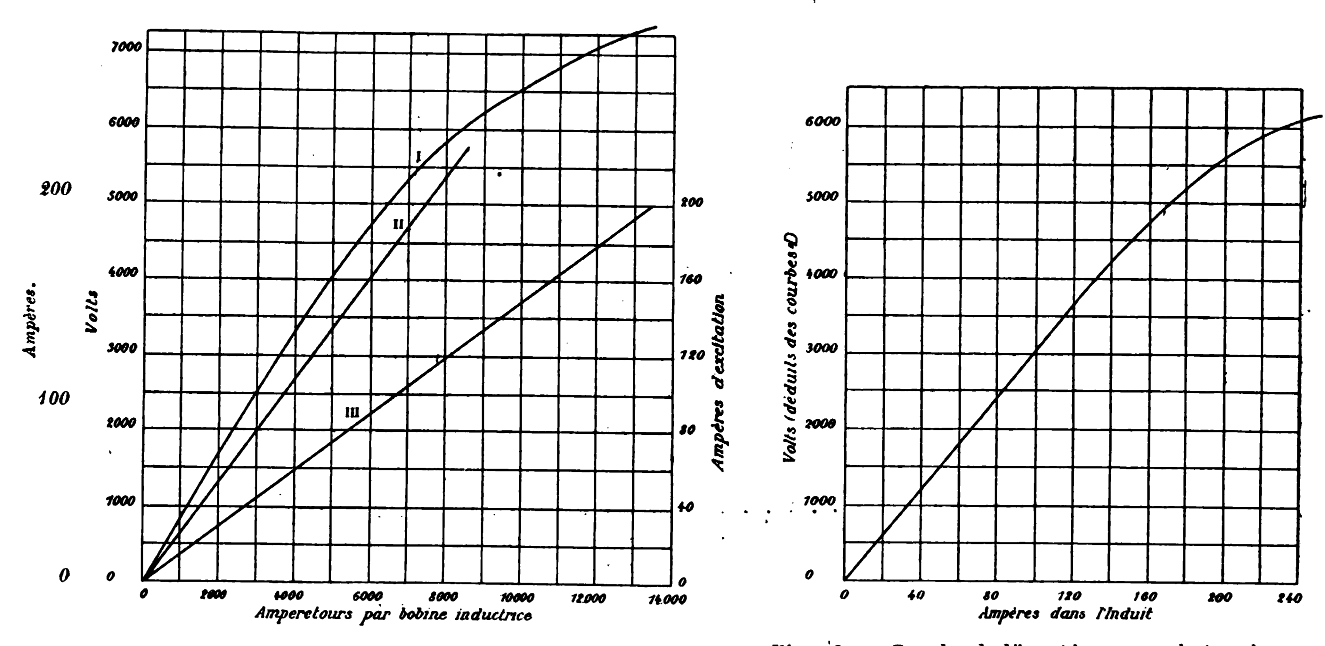


Fig. 12. — Caractéristiques de l'alternateur.

I. Caractéristique à vide. — II. Caractéristique en court-circuit.
III. Droite de correspondance des ampèretours au courant d'excitation.

Fig. 13. — Courbe de l'impédance synchrône de l'alternateur Thomson-Houston.

L'inducteur a 4 pôles ; la couronne inductrice est en deux parties et les pôles sont venus de fonte avec elle.

L'induit est en tambour et lisse.

Tableau de distribution. — Le tableau de distribution est formé par une cabine en cornière sur le devant de laquelle sont disposés trois panneaux en marbre. Les autres face de la cabine sont revêtues d'un grillage.

Le panneau central contient les appareils nécessaires à la génératrice et à l'excitatrice ; ce sont un voltmètre statique, un ampèremètre placé sur l'une des phases et un interrupteur à huile, un ampèremètre pour l'excitation et l'interrupteur du champ de l'alternateur.

Les deux autres panneaux sont aménagés pour servir de départ à deux réseaux. Chacun d'eux comporte un ampèremètre de 150 ampères placé sur l'une des phases, un interrupteur à huile et un indicateur de terre.

Cet indicateur est formé de deux électromètres à quadrants. Une paire de quadrants



pour chacun des électromètres est à la terre à travers une résistance en graphite de 6 000 ohms environ. Les deux autres quadrants de chaque électromètre sont en relation chacun avec un des conducteurs de la ligne de façon que l'un de ceux-ci se trouve en relation avec un quadrant de chaque électromètre et les deux autres avec un seul quadrant de l'un des deux électromètres.

Des plombs fusibles constitués par des ressorts sont disposés à la partie inférieure à l'intérieur de la cabine.

Résultats d'essais. — Les courbes de la figure 12 reproduisent la caractéristique à vide et la caractéristique en court-circuit de l'alternateur de la Compagnie française Thomson-Houston.

L'intensité du courant d'excitation, pour obtenir à vide la tension de 5 500 volts aux bornes, est de 110 ampères.

L'intensité normale de débit de 105 ampères, dans l'alternateur en court-circuit, est obtenue avec un courant d'excitation de 57 ampères, correspondant à une tension induite de plus de la moitié de la tension normale à vide.

En charge de 1 000 kilowatts, avec un facteur de puissance égal à l'unité, l'intensité calculée du courant d'excitation est de 126 ampères. La chute de tension dans ce cas est de 9,5 p. 100.

L'intensité du courant d'excitation en charge est déduite des caractéristiques à vide et en charge ou plus exactement de la première et la caractéristique d'impédance synchrone ou rapport de la tension induite au courant en court-circuit pour une même excitation. L'impédance synchrone est représentée sur la figure 13, en fonction de la tension induite.

Le rendement électrique de l'alternateur, c'est-à-dire, abstraction faite des pertes par frottements dans les paliers du volant, est de 95,6 p. 100 à pleine charge.

Les pertes dans ce cas se décomposent ainsi :

Pertes dans le fer induit	19700
Pertes par effet Joule dans l'induit	13700
Pertes par effet Joule dans l'inducteur.	12730
Total	46130

A trois quarts de charge, le rendement est encore de 95,3 p. 100; à demi-charge, il est de 94,1.

En fermant les enroulements induits en court-circuit, le courant dans ceux-ci, pour l'excitation correspondant à la pleine charge, est de 232 ampères soit 2,2 fois le courant normal.

ACCUMULATEURS PHÉNIX

Une description très détaillée de ces accumulateurs a déjà paru dans le numéro du 3 février 1900 de ce journal.

Depuis cette époque, la Société française des accumulateurs Phénix a créé un nouveau type qui présente quelques particularités intéressantes, et que, pour cette raison, nous allons décrire ici.

Ce nouvel élément imaginé par G. Phllippart(1) diffère des accumulateurs construits jusqu'ici, en ce que au lieu d'être constitué par des plaques séparées, les unes positives,

(1) Brevet n° 299303, Philippart. Perfectionnement dans les accumulateurs électriques, août 1900.



les autres négatives, celui-ci comprend seulement un certain nombre de blocs représentant chacun un petit élément complet, à une positive et une négative.

Les figures 1, 2 et 3 montrent la constitution d'un bloc élémentaire; la figure 1 est une coupe longitudinale suivant l'axe; les figures 2 et 3, des coupes transversales suivant AB et CD.

Une tige centrale *a* en plomb antimonieux est entourée d'une enveloppe de peroxyde *b* qui repose en bas sur une rondelle *r* faisant corps avec la tige *a*. Autour de la matière positive *b*, est serré un tube *c*, en terre poreuse, formant manchon de support et de retenue pour la matière active, et servant de véhicule à l'électrolyte.

Aux deux extrémités de ce tube sont disposées des collerettes de plomb *d e* qui sont reliées par un fil de plomb *f* roulé en spirale autour du tube *c*. Cette armature *d e f* du tube *c* est recouverte d'un enduit formé par une couche de plomb réduit *h* s'appuyant sur *c* et l'englobant.

Le pôle positif est formé par la tige centrale *a*, et le pôle négatif par une tige en plomb *g* fixée à la collerette *d* et noyée dans l'enduit en plomb spongieux *h*. Celui-ci peut être entouré à son tour d'une gaine perforée isolante ou conductrice qui conserve à l'ensemble son caractère de bloc.

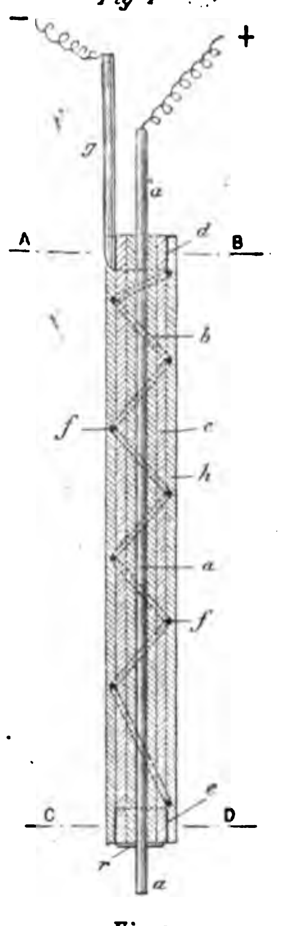
Les blocs construits actuellement ont une hauteur de 230 mm et un diamètre extérieur de 35 mm, leur poids est de 650 gr.

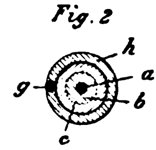
L'enveloppe extérieure de la matière active négative est une gaine en plomb mince perforée d'un grand nombre de petits trous.

Le tube en terre poreuse friable employé ici est très peu résistant électriquement.

Un accumulateur de ce système se compose suivant son importance d'un nombre plus ou moins grand de ces blocs et les pôles positifs et négatifs sont reliés respectivement à 2 plaques horizontales en plomb antimonié superposées formant les pôles de l'élément; le pôle négatif qui est en dessous est perforé pour laisser passer les tiges positives.

Les avantages revendiqués pour ce nouveau type d'accumulateur sont, d'après les constructeurs, une grande capacité et une grande durée dues à la grande proportion de matière active par rapport au poids total, d'une part, et d'autre part, au maintien parfait de celle-ci qui ne peut plus tomber. De plus, le maniement et le montage seraient des plus faciles.





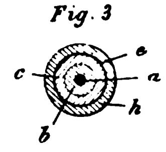


Fig. 1, 2 et 3.
Coupe d'un élément Phénix.

D'après le genre d'applications, ces accumulateurs sont divisés en deux catégories principales : accumulateurs légers et accumulateurs à poste fixe qui ne diffèrent que par le montage, l'électrode normale étant la même dans tous.

On trouvera dans le tableau suivant les principales caractéristiques d'éléments de ces deux types.

Nature du bac		Accumulateurs légers — ébonite	Accumulateurs à poste fixe — verre	Accumulateurs à poste fixe — bois plombé
Nombre d'électrodes		20	20	90
Disposition des électrodes.	nombre d'électrodes en hauteur	1	1	1
	» » longueur	5	5	15
	» » largeur	4	4	6
Dimensions ext. du bac en mm.	longueur	188	240	640
	largeur	152	200	280
	hauteur (contacts compris)	300	310	310
Poids approximat. en kg.	des électrodes	13	13	58,5
	total	18 (liquide compris)	18 (liquide non compris)	74 (liquide non compris)
Capacités aux différents régimes.	10 heures	285 a.-h. à 28,5 a.	264 a.-h. à 26,4 a.	1188 a.-h. à 118,8 a.
	8 »	275 » 34,4 »	254,5 » 31,8 »	1145 » 143,1 »
	6 »	260 » 43,3 »	240 » 40 »	1080 » 180 »
	5 »	250 » 50 »	230,5 » 46,1 »	1037 » 207,4 »
	4 »	237,5 » 59,4 »		
	3 »		201,5 » 67,2 »	907 » 302,3 »
	2 »	195 » 97,5 »	180 » 90 »	810 » 405 »
	1 »	147,5 » 147,5 »	137 » 137 »	616 » 616 »
	0,5 »	112,5 » 225 »	103 » 206 »	464 » 929 »

Ces capacités sont plus élevées que celles données par les éléments de l'ancien type ainsi qu'on peut s'en assurer par le tableau suivant relatif à ce dernier cas.

Nature du bac		Accumulateurs légers — ébonite	Accumulateurs à poste fixe — verre	Accumulateurs à poste fixe — bois plombé
Nombre d'électrodes		880	700	2700
Disposition des électrodes.	nombre d'électrodes en hauteur	2	2	3
	» » longueur	21	2	30
	» » largeur	21	16	30
Dimensions ext. du bac en mm.	longueur	186,5	300	412
	largeur	186,5	222	412
	hauteur (contacts compris)	205	295	425
Poids approximat. en kg.	des électrodes	12,32	23,1	89,1
	total	17,25 (liquide compris)	28,5 (liquide non compris)	107 (liquide non compris)
Capacités aux différents régimes.	6 heures		250 a.-h. à 41,66 a.	1000 a.-h. à 166,66 a.
	5 »	200 a.-h. à 40 a.		

Les prix de revient ont été aussi très abaissés par le nouveau procédé.

J. Reyval.

SUR LES PHÉNOMÈNES THERMO-MAGNÉTIQUES

Une plaque métallique mince disposée dans un champ magnétique, normalement aux lignes de force et traversée par un courant électrique ou calorifique, est le siège d'effets électriques et calorifiques transversaux, c'est-à-dire, perpendiculaires au courant et au champ (1).

(1) J'ai laissé de côté les effets thermiques et électriques *longitudinaux* dus au champ magnétique, tels que la variation de conductibilité électrique ou thermique ; la différence de température suivant les lignes du flux électrique ou la force électromotrice suivant les lignes de flux calorifique primaire (Nernst. *Wied. Ann.*, 1887. Les premiers suivant des lois assez mal connues, au moins pour les métaux autres que le bismuth ,et les derniers sont très irréguliers.



Avec un courant électrique primaire I on observe :

1. Un effet électrique ou force électromotrice de Hall ;

2. Un effet thermique, défini par la différence de température *galvanométrique* découverte par von Ettingshausen (*Wied. Ann.*, 1887).

Avec un courant calorifique primaire J, on observe :

1. Un effet électrique ou force électromotrice *thermomagnétique* découverte par Nernst et von Ettingshausen (*Wied. Ann.*, 1887).

2. Un effet thermique analogue au phénomène de Hall et qui se traduit par une rotation des isothermes du courant J. Il a été découvert par M. Leduc (*C. R.*, 1887).

Les effets précédents sont proportionnels au champ, au moins pour les faibles intensités et proportionnels au flux calorifique ou électrique. Il n'y a pas entre eux de caractères de réciprocité, c'est-à-dire que la différence de température galvanomagnétique n'est pas inverse de l'effet thermomagnétique. Ils ont tous été observés très nettement chez le bismuth. Chez les autres métaux étudiés, l'effet Hall et l'effet thermomagnétique de Nernst sont les seuls bien définis. Si on veut alors chercher entre eux une relation, il est avantageux de s'adresser à un de ces derniers corps plutôt qu'au bismuth où tous les phénomènes sont superposés et par suite l'étude de chacun d'eux plus délicate.

Dans le présent mémoire, je me propose de montrer que l'effet thermomagnétique de Nernst est un effet Hall d'espèce particulière. Les observations de Nernst m'ont permis d'établir approximativement cette relatation et mes expériences sur les métaux magnétiques, définitivement.

I. — Définition et relation des deux effets

Considérons une plaque métallique, normale aux lignes de force d'un champ magnétique uniforme d'intensité H. Soient α sa largeur et ε son épaisseur comptée suivant le champ. Chaque section $\alpha\varepsilon$ est traversée, dans le même sens, par un courant électrique I et un flux de chaleur. Ce dernier correspond dans la section $\alpha\varepsilon$ à une chute de température $\frac{\Delta t}{\Delta x}$. Les deux effets, électrique et thermique, transversaux sont définis par les formules suivantes :

1. Force électromotrice thermomagnétique de Nernst :

$$e = K \alpha H \frac{\Delta t}{\Delta x}. \tag{1}$$

K est un coefficient caractéristique du métal et constant pour les faibles valeurs de H.

2. Force électromotrice de Hall :

$$E = c \frac{H}{\varepsilon} I \tag{1'}$$

c est aussi un coefficient constant pour les faibles champs et caractéristique du métal. En appelant ρ la résistivité de la plaque et W la force électromotrice de I par unité de longueur, la dernière formule s'écrit :

$$E = \frac{c}{\rho} H \alpha W \tag{2}$$

Par suite de la chute de température $\frac{\Delta t}{\Delta x}$ qui existe dans chaque section de la plaque, il y a, suivant l'hypothèse de Kelvin, une différence de potentiel $\frac{\Delta V}{\Delta x}$ par unité de longueur,



et on a :

$$\frac{\Delta V}{\Delta x} = \sigma \frac{\Delta t}{\Delta x}$$

σ est, en unités mécaniques, la chaleur spécifique d'électricité du métal.

Remplaçons dans (2) W par $\frac{\Delta V}{\Delta x}$ il vient :

$$E' = \frac{\sigma c}{\rho} H \alpha \frac{\Delta t}{\Delta x}$$

c'est-à-dire une formule analogue à la formule (1).

Nous interprèterons donc l'effet thermomagnétique de Nernst en le regardant comme un effet Hall des forces électromotrices que Thomson introduit dans sa théorie des courants thermoélectriques, forces électromotrices échelonnées le long des métaux d'un couple et caractérisées par σ.

Pour que cette interprétation soit exacte il faut vérifier qu'on a en grandeur et en signe :

$$K = \frac{\sigma c}{\rho}. \tag{3}$$

Les recherches de Nernst sur l'effet thermomagnétique et de Nernst et von Ettingshausen sur l'effet Hall (*Wied. Beiblatter*, II, 1887) fournissent les valeurs de K et c à 20° pour différents métaux. Les valeurs de ρ ne sont qu'approximativement connues pour les échantillons qu'ils ont étudiés, on peut néanmoins prendre les nombres des recueils à données numériques pour une première vérification de la formule 3. σ sera déduit des pouvoirs thermoélectriques φ des métaux par rapport au plomb, qui résultent des observations de Tait, Knott et Battelli, par la formule :

$$\sigma_T = - T \frac{\partial \varphi}{\partial T}$$

où T est la température absolue.

On obtient alors le tableau suivant :

	Bismuth.	Antimoine.	Nickel.	Cobalt.	Fer.	Acier	Cuivre	Zinc.
K observé	+ 0,196	+ 0,0094	+ 0,0073	+ 0,00154	— 0,00156	— 0,00060	— 0,000073	— 0,000054
K calculé	+ 0,149	+ 0,0090	+ 0,0026	— 0,00175	— 0,00156	— 0,00062	— 0,000084	— 0,000046

Dans ces colonnes, le signe + indique que le sens du phénomène thermomagnétique est celui de l'action électromagnétique du champ sur le courant primaire I dans la formule de Hall. Si on excepte le nickel et le cobalt, on doit considérer l'accord de la formule 3 avec l'observation, comme satisfaisant, car il faut se rappeler que σ et ρ n'ont pas été déterminés sur les échantillons étudiés par Nernst et que pour le bismuth, ces éléments varient avec le champ magnétique. Pour le nickel, la différence est considérable, nous en verrons plus loin la signification ; pour le cobalt, l'accord des signes n'existe pas : cela tient, je crois à une erreur de sens dans l'observation qui s'est glissée dans le mémoire de Nernst.

II. — Recherches sur les métaux magnétiques

Les différences qui existent entre les nombres K, calculés par la formule (3) et ceux observés par Nernst sont très faibles, sauf pour le nickel et le cobalt. Je me suis demandé si elles s'annuleraient en déterminant sur le *même échantillon*, les valeurs des quatre grandeurs K, σ, ρ et c. Pour les raisons indiquées plus haut, j'ai fait des recherches sur les



métaux magnétiques, parce que les deux effets transversaux étudiés y sont très nets et les deux autres négligeables (rotation des isothermes de Leduc et différence de température galvanomagnétique de von Ettingshausen) ; en outre pour ces corps, les variations de σ et ρ sous l'action du champ sont très petites.

Mes observations ont été faites à différentes températures et avec différentes valeurs du champ. Il résulte une loi de variation de c et K avec H qui peut servir à l'interprétation du phénomène de Hall et une loi de variation avec t qui établit l'existence d'une température d'inversion pour le même effet. La vérification de la formule 3, est complète, sauf pour le nickel.

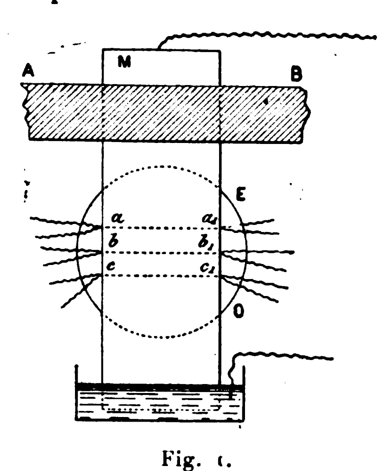


Fig. 1.

Dispositif expérimental. — La lame métallique M (fig. 1) est placée entre les armatures d'un fort électro-aimant Weiss, normalement aux lignes de force du champ étudié avec une spirale de bismuth étalonnée. Elle est encastrée dans une forte barre de cuivre AB disposée horizontalement et chauffée en un point variable toujours éloigné de la barre. Elle provoque dans cette dernière un courant calorifique qu'on peut rendre parfaitement régulier au moyen d'une deuxième source de chaleur placée convenablement en un point de l'autre partie de AB.

La lame M est isolée, au point de vue thermique et électrique, des armatures de l'électroaimant par des feuilles de mica et d'amiante. Elle plonge à sa partie inférieure dans un bain de mercure maintenu à température constante, par un large manchon rempli d'eau.

Dans la région uniforme du champ, figurée par le cercle O, on a soudé sur chaque bord de la lame trois couples Pt-Cu équidistants. Les couples a et a_1 donnent la température t_a de la section aa_1 ; les couples b et b_1 ; celle de la section bb_1 ; les couples c et c_1, celle de la section cc_1. On déduit ainsi la chute $\frac{\Delta t}{\Delta x} = \frac{t_a - t_c}{ac}$ pour la section moyenne bb_1, dont la température est t.

Naturellement les sources de chaleur sont réglées le long de la barre AB, de façon que la différence de température aux extrémités d'une même section soit très petite, c'est-à-dire que les isothermes de la lame M soient parallèles et perpendiculaires aux bords verticaux de cette lame.

Mesure de l'effet thermomagnétique de Nernst. — Un galvanomètre de Nobili à faible résistance (1,4 ohm) et très sensible (sur une échelle à 1,75 m du miroir, 1 mm de déviation correspond à un courant de 0,036 microampère) a été gradué en forces électromotrices au moyen de dérivations prises sur le circuit d'un élément Gouy. On a tracé une courbe reliant les déviations de l'aiguille, aux forces électromotrices dans un circuit de résistance connue R. En reliant à ce galvanomètre les fils de cuivre des couples b et b_1, on observera, sous l'action du champ, une déviation Δ qui caractérise la force électromotrice électromagnétique e de la section bb_1. Si ε est la force électromotrice donnée par la courbe du galvanomètre, pour la déviation Δ, si ρ est la résistance du courant formé par la lame M, les fils de communication b, b_1 et le galvanomètre, on a :

$$e = \frac{\rho}{R} \cdot \varepsilon. \tag{4}$$

En réalité Δ est la moyenne des quatre déviations obtenues en renversant le sens du

champ et le sens du courant thermomagnétique dans le galvanomètre. On élimine ainsi les corrections d'ailleurs petites, de l'action de l'électro-aimant sur le galvanomètre et la différence de température qui peut exister entre les points b et b_1.

La formule (4) donne la force électromotrice thermomagnétique correspondant à la température t, à la chute $\frac{\Delta t}{\Delta x}$ et au champ H.

Mesure de l'effet Hall. — On superpose au courant de chaleur un courant électrique I mesuré par un ampèremètre de Hartmann étalonné par électrolyse. Sous l'action du champ, et suivant la section bb_1, la force électromotrice de Hall E s'ajoute ou se retranche suivant le sens de I, à la force thermomagnétique e. En renversant le courant primaire, on mesurera comme avant $e - E$ et $e + E$, d'où E et une nouvelle mesure de e. La valeur obtenue pour E correspond à t° et au champ H.

Mesure de ρ et σ. — La mesure de la résistivité ρ a été faite à zéro par la méthode du pont. On découpa dans chacune des lames des expériences précédentes, des bandes de 1 à 3 mm de largeur, dont les différentes régions furent étudiées avec une machine à diviser et une vis micrométrique dans le but de déterminer la section moyenne et la longueur.

La valeur de σ, chaleur spécifique d'électricité de la lame M, fut déduite de la formule déjà indiquée :

$$\sigma_T = - T \frac{\partial \varphi}{\partial T}.$$

On mesurera φ en étudiant des couples formés par les bandes précédentes et des tiges de plomb pur. L'une des soudures était maintenue à zéro et l'autre portée à 100° et à la température du laboratoire avec une étuve à eau. Elles plongeaient dans des tubes de verre pleins de mercure où se trouvaient des thermomètres étalonnés donnant la température. L'observation dans les deux cas de la force électromotrice fournit la relation entre φ et T.

Résultats obtenus avec des lames magnétiques. — I. *L'effet Hall et l'effet thermomagnétique de Nernst sont proportionnels à l'aimantation de la plaque dans les quatre métaux magnétiques.*

Cette propriété a été établie pour l'effet Hall par Kundt (*Wied. Annalen*, t. XLIX, 1893). Elle résulte immédiatement pour les deux effets, des deux tableaux cités dans la note ci-dessous (1) à titre d'exemples d'observations et qui se rapportent au fer doux et au nickel.

---

(1) 1° *Fer doux.* — Lame recuite soigneusement 8 heures. Longueur 30 cm, largeur $\alpha = 5$ cm, épaisseur $\varepsilon = 0,26$ mm.

Température de la section $bb' = 42°,4$.

$$\frac{\Delta t}{\Delta x} = 14,8 \qquad I = 1,25 \text{ ampère.}$$

Δ_H et Δ_n sont les déviations observées pour les deux effets. Elles donnent par la courbe de graduation du galvanomètre les forces électromotrices E et e, avec lesquelles on calcule c et K d'après les formules (1) et (1').

Champ H =	3700	4900	9400	12000	13800	16000	17000
$\frac{\Delta_H}{\Delta_n}$ =	0,88	0,86	0,87	0,91	0,89	0,90	0,90
$\frac{H}{\Delta_H}$ =	194	196	195	190	194	200	208
$10^4 c$ =	110,4	109,7	109,8	112,9	110,6	108	103,6
$10^5 K$ =	81,3	82,8	81,9	80,5	80,1	80,1	74,8



II. Entre 0 et 60°, températures limites des observations, on peut représenter les variations de c et K par des fonctions linéaires de la température. En posant :

$$\left.\begin{array}{l} 10^5 c = A + Bt \\ 10^5 K = A_1 + B_1 t \end{array}\right\} \qquad (5)$$

on a obtenu pour les différents métaux magnétiques :

	A	B	A_1	B_1
Fer doux recuit	+ 837	+ 6,5	— 64,6	— 0,39
Acier doux.	+ 662	+ 11,2	— 59,6	— 0,92
Cobalt recuit.	+ 232	+ 4,05	— 80	— 1,82
Cobalt	+ 399	+ 7,8	— 146	— 2,7
Nickel recuit.	— 742	— 12,2	+ 216	+ 4,3

Le signe + indique, comme précédemment, que le phénomène a le sens de l'action électromagnétique du champ sur le courant primaire I dans l'effet Hall.

Dans les quatre métaux les deux effets sont opposés. Ces résultats, quant aux signes, sont identiques à ceux de Nernst à l'exception du cobalt pour lequel ce physicien donne le signe +. Cela tient comme je l'ai dit plus haut, très probablement à une erreur d'impression dans le mémoire déjà cité.

Voici à titre d'exemple et pour le fer doux, les observations faites sur K et c et comparées aux valeurs calculées par (5).

TEMPÉRATURE	10^5K		DIFFÉRENCE	10^5c		DIFFÉRENCE	$\frac{c}{K}$ observé
	observé	calculé		observé	calculé		
22°8	72,9	73,4	— 0,5	964	985	— 21	13,3
28°	76,1	75,5	+ 0,6	973	1019	— 46	12,8
29°8	76,3	76,2	+ 0,1	1020	1030	— 10	13,4
33°3	79,4	77,6	+ 1,8	1089	1053	+ 36	13,7
38°5	79,7	79,6	+ 0,1	1049	1087	— 38	13,1
42°4	80,1	81,1	— 1,0	1092	1112	— 20	13,6

2° *Nickel.* — Lame recuite. Longueur 30 cm, largeur $\alpha = 5$ cm, épaisseur $\varepsilon = 0,3$ mm. Température de la section $bb' = 37°,8$,

$$\frac{\Delta t}{\Delta x} = 22,05 \qquad I = 1,8 \text{ ampère}.$$

La distance ac des couples des sections extrêmes aa' et cc' est de 4 cm. Elle fut de 3 cm dans les observations précédentes citées pour le fer doux.

Champ H =	1700	2500	3500	4900	6600	7500	9750	13800
$\frac{\Delta_n}{\Delta_H}$ =	2,46	2,39	2,42	2,37	2,36	2,36	2,37	2,36
$\frac{H}{\Delta_H}$ =	83	82	83	83	101	115	145	200
$10^4 \times c$ =	123,4	123,8	122	123,6	90,9	87,9	69,7	50,8
$10^5 \times K$ =	380	373	373	366	297	262	208	151

Dans les colonnes précédentes on voit que :

1° Le rapport $\frac{\Delta_H}{\Delta_n}$ est constant quel que soit H, donc les deux effets sont proportionnels, quant au champ.

2° Le rapport $\frac{H}{\Delta_H}$ et les coefficients c et K sont constants jusqu'à 15 000 unités pour le fer doux et 5 000 pour le nickel. Ces deux limites du champ magnétique correspondent à la saturation de l'aimantation pour les lames étudiées, aimantation qui est proportionnelle à H pour les champs plus faibles, puisque les lames sont de petite épaisseur. Les formules 1 et 2 sont ainsi applicables jusqu'à ces limites.

Pour le cobalt et l'acier doux recuit on obtient la saturation vers 10 000 unités et les formules 1 et 2 se trouvent aussi vérifiées jusqu'à cette valeur du champ magnétique.

****

L'accord entre les formules 5 et l'observation a lieu à 1/30 de la valeur des coefficients. C'est d'ailleurs là l'exactitude des résultats.

Si on admet que les formules 5 sont valables au-dessous de zéro, on voit que les effets changent de sens aux températures suivantes :

	Fer doux	Acier	Cobalt recuit	Cobalt non recuit	Nickel
Effet Hall.	— 128°	— 59°	— 57°	— 51°	— 61°
Effet Nernst	— 165°	— 64°	— 44°	— 54°	— 50°
Moyenne	— 146°	— 62°	— 50°,5	— 52°,5	— 55°

Il semble que les deux effets s'annulent à la même température pour chaque métal. Pour le fer, il est vrai, les points d'inversion sont assez différents, mais pour les autres la concordance est satisfaisante, si on remarque qu'ils ont été obtenus par extrapolation de formules établies pour un intervalle de températures limité.

En admettant le même point d'inversion, on peut écrire

$$\frac{c}{K} = \varphi \qquad (6)$$

où φ est une constante pour un métal, relativement à la température. Les observations faites sur K et c entre 0 et 60° permettent de vérifier la constance de φ dans cet intervalle. Voici les moyennes obtenues pour φ.

	Fer doux	Acier doux	Cobalt recuit	Cobalt	Nickel recuit
$\varphi =$	— 13,3	— 11,4	— 2,57	— 2,68	— 3,16

Ces nombres ne s'écartent pas de 1/30, des valeurs extrêmes observées pour le rapport $\frac{c}{K}$, comme on peut en juger par la dernière colonne du tableau de comparaison des formules 5, au fer doux [1].

III. *Vérification de la formule* $K = \frac{\sigma c}{\rho}$.

La formule (6) donne à zéro

$$\frac{c_0}{K_0} = \varphi.$$

Donc si la formule (3) est vérifiée on aura :

$$\frac{\rho_0}{\sigma_0} = \varphi. \qquad (7)$$

---

[1] *Remarque*. — Les formules 5 donnent pour les coefficients c de l'effet Hall des nombres qui diffèrent de ceux de Nernst et von Ettingshausen et de ceux de Hall.

Voici à 20° les coefficients c d'après ces physiciens.

	Nernst et von Ettingshausen	Hall	Formules 5
Fer.	+ 0,0113	+ 0,00785	+ 0,00967
Acier	+ 0,0175	variable	+ 0,00886
Cobalt.	+ 0,00459	0,00246	+ 0,00313 (recuit)
Nickel.	— 0,0242	— 0,01474	— 0,00986

On ne doit pas s'étonner de ces différences, car il semble à peu près certain que le phénomène de Hall est dû à une hétérotropie que prend le milieu sous l'action du champ. Il est alors possible que les moindres modifications moléculaires des corps se traduisent, quant à c, par des différences notables, pour des échantillons différents d'un même corps, puisque ces modifications agiront à la fois sur l'hétérotropie et sur l'aimantation. A ce sujet, on peut rappeler que Kundt a obtenu par électrolyse des plaques de bismuth ne présentant pas d'effet électrique Hall sensible, tandis que les plaques préparées par fusion l'offrent avec une grande intensité (*Wied. Ann.*, 1893).

Cette remarque s'applique également aux différences qui existent entre les valeurs de K des formules (5) et celles obtenues par Nernst et indiquées au début de ce mémoire.



Les recherches faites sur σ chaleur spécifique d'électricité par la méthode indiquée plus haut, nous fournissent σ_0 pour chaque métal. De la formule 7, on tire alors ρ_0 qu'on compare aux valeurs observées pour la résistivité à zéro.

	φ	σ_T	ρ_0 calculé	ρ_0 observé
Fer doux	— 13,3	— 3,68 T	13353	13952
Acier	— 11,4	— 3,54 T	11017	10990
Cobalt	— 2,68	—13,9 T	10169	10253
Nickel	— 3,16	— 5,46 T	4711	12560

Dans la colonne σ_T, T désigne la température absolue.

Pour les trois premiers corps, la formule peut être regardée comme vérifiée, puisque les rapports φ sont connus à 1/30 près. Cette vérification, faite à zéro, existe aussi pour les autres températures, car φ est une constante, σ est proportionnel à T, ρ doit l'être aussi, ce qui est à peu près exact pour les corps bons conducteurs.

Si on se rappelle le premier tableau où les résultats de Nernst sont comparés à la formule (3), on peut dire que pour tous les métaux *excepté le nickel, l'effet thermomagnétique est un effet Hall des forces électromotrices de Thomson.*

Interprétation des résultats relatifs au nickel. — La résistivité à zéro calculée par la formule (7) est différente de la résistivité observée. Le rapport est de 2,6 environ, c'est-à-dire que le coefficient thermomagnétique K déduit de la formule est 2,6 trop faible. Or la même remarque est à faire, à propos des résultats de Nernst. Les coefficients K calculés et observés sont 0,026 et 0,073 au signe près, et leur rapport est 2,8, très voisin de 2,6. Cette coïncidence que j'ai d'ailleurs retrouvée avec deux autres échantillons de nickel, ne semble pas être l'effet du hasard et montre qu'à la rotation des surfaces équipotentielles définies par le coefficient σ de Thomson, doit se superposer un autre phénomène du même genre qu'il faut définir. Soit $\sigma_1 = 2,6 \times \sigma$, σ_1 variera comme σ avec la température. Pour interpréter σ_1, j'ai d'abord pensé à l'effet thermomagnétique longitudinal que Nernst a observé dans le bismuth. S'il existe dans le nickel, il doit se produire dans le sens du flux de chaleur, un flux électrique proportionnel au flux calorifique et qui pourra subir l'effet Hall. Je l'ai constaté, mais il est très faible et varie rapidement avec le champ suivant une loi très complexe. On peut d'ailleurs l'expliquer par un effet Thomson spécial analogue à celui que M. Houllevigne a trouvé dans le fer (*Journal de Physique*, 1895). A cause de sa faiblesse, il ne peut correspondre à la différence $\sigma_1 - \sigma$.

Il me paraît plus naturel d'admettre l'interprétation suivante :

Il n'a pas été prouvé jusqu'ici que les forces électromotrices F qui correspondent à l'effet Peltier entre deux métaux M_1 et M_2 fussent les forces électromotrices de contact vrai E. Par suite on a pu supposer que les forces électromotrices définies par le coefficient σ de Thomson, c'est-à-dire par la formule

$$= - T \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial T^2} \quad \varepsilon \text{ force électromotrice du couple } M_1 \text{ et plomb}$$

ne représentaient pas les forces électromotrices de contact vrai θ entre deux parties d'un même corps à des températures différentes. On sait seulement qu'il existe entre ces forces vraies E et θ et celles données par l'étude d'un couple M_1, M_2, la relation :

$$\frac{\partial F}{\partial T} + \sigma_{M1} - \sigma_{M2} = \frac{\partial E}{\partial T} + \theta_{M1} - \theta_{M2} \quad (\textit{Thermodynamique}, \text{Poincaré}).$$

On peut alors concevoir des corps où $\sigma = \theta$ et des corps où σ serait différent de θ.



Pour les premiers, la valeur de σ déduite de l'équation 8 coïnciderait précisément avec celle que fournit l'étude directe de l'effet Thomson par une méthode calorimétrique analogue à celle de M. Le Roux. Pour les autres au contraire il y aurait une différence.

Dans la première classe, rentreraient tous les métaux des tableaux précédents, excepté le nickel, ainsi que l'ont prouvé les expériences de Batelli. Dans l'autre, serait le nickel pour lequel l'effet de Thomson déduit du transport électrique de chaleur est au moins deux fois plus petit que celui qui est défini par σ d'après les recherches de Penrose.

Si on admet cette classification, on peut généraliser la formule 3 en *disant que l'effet thermomagnétique est un effet Hall des forces électromotrices de contact vrai de Thomson.*

Le nickel rentre alors dans la règle générale, car pour lui c'est θ différent de σ qui réglera la rotation des surfaces équipotentielles.

NOTE. — *Remarques sur la théorie de Voigt* (1). — Dans une étude thermodynamique des phénomènes thermo-électrique, Voigt a interprété les phénomènes thermomagnétiques transversaux. D'après ce savant, dans un couple, les chutes de température provoquent des forces électromotrices A *échelonnées* tout le long du circuit et accompagnées d'un courant de convection calorifique B qui produit les effets Joule, Peltier et Thomson. Ce courant B est superposé au courant calorifique de conduction C qui existe forcément dans chaque métal du couple.

Dans le champ magnétique, A et B subissent l'effet Hall et C la rotation des isothermes de Leduc, d'où les phénomènes calorifiques et électriques transversaux.

Voici sous une forme peu différente les résultats de l'étude de Voigt :

Soient en un point d'un métal M, u, v, w les composantes du courant thermo-électrique; T_x, T_y, T_z les chutes de température suivant des directions parallèles aux axes de coordonnées, enfin X, Y, Z les composantes de la force thermo-électrique par unité de longueur. Puisque X, Y, Z sont en première approximation proportionnelles aux chutes de température, on peut écrire :

$$\text{Force élect. A}\quad\left\{\begin{aligned} X &= \theta' \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial \theta}{\partial x} \qquad \text{où} \qquad T_x = \frac{\partial I}{\partial x} \\ Y &= \theta' \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\partial \theta}{\partial y} \qquad\qquad\quad T_y = \frac{\partial I}{\partial y} \\ Z &= \theta' \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial \theta}{\partial z} \qquad\qquad\quad T_z = \frac{\partial I}{\partial z} \end{aligned}\right. \tag{9}$$

θ est une fonction de la température T et caractéristique du métal M. On a posé $\theta' = \frac{\partial \theta}{\partial T}$.

La quantité de chaleur *reçue* pendant une seconde par l'unité de volume comprend deux parties :

1° *Effet Joule.*

$$\omega'_1 = -\sum uX = -\sum u \frac{\partial \theta}{\partial u}.$$

On peut regarder ω'_1 comme fournie par un flux calorifique de convection, dont les composantes sont :

$$u_1 = -u\theta;\quad v_1 = -v\theta;\quad \omega_1 = -\omega\theta.$$

2° *Effet Thomson.*

$$\omega'_2 = \sum u \frac{\partial k}{\partial x}.$$

K est une fonction de T caractéristique du métal M. Le courant de convection correspondant est :

$$u_2 = +uK;\quad v_2 = +vK;\quad \omega_2 = +\omega K.$$

Pour connaître K nous remarquerons que le coefficient de transport électrique σ de Thomson est :

$$\sigma = \frac{dK}{dT}.$$

Or Voigt est amené à écrire

$$\sigma = -T \frac{d^2\theta}{dT^2} \tag{10}$$

donc

$$K = \theta - T \frac{\partial \theta}{\partial T}.$$

(1) *Wied. Ann.*, t LXVII, 1899 et *Éclairage Électrique*, t. XX, 1899.

Le courant de convection B qui accompagne A est alors la somme des deux conrants précédents :

$$U_1 = -uT\theta' ; \quad V_1 = -vT\theta' ; \quad W_1 = wT\theta'. \tag{11}$$

Le courant de conduction calorifique c est :

$$U = -\gamma T_x , \quad V = -\gamma T_y , \quad W = -\gamma T_z \tag{12}$$

où γ est le coefficient de conductibilité calorifique du milieu.

Action du champ magnétique. — Soit une lame rectangulaire du métal M, placée dans le champ magnétique H, normal à son plan qui sera le plan des xy, les axes ox et oy étant parallèles aux côtés de la lame.

1. *Un courant électrique traverse la lame dans la direction* — oy. *Tous les points de la lame sont à la même température.*

$$X = 0 , \quad Y = Y_0 . \qquad Z = 0 \tag{A}$$
$$U_1 = 0 , \quad V_1 = -vT\theta' , \quad W_1 = 0. \tag{B}$$

La force électromotrice Y_0 tournera sous l'action du champ et donnera l'*effet Hall*

$$X_1 = \frac{c}{\rho} HY_0 . \tag{13}$$

La composante V_1 du courant calorifique B tourne aussi avec le coefficient de Hall et donne

$$U'_1 = + \frac{c}{\rho} HvT\theta'$$

d'où la chute de température galvanomagnétique de von Ettingshausen

$$T'_x = + \frac{c}{\rho\gamma} vT\theta'H = \alpha Hv. \tag{14}$$

On peut comparer la formule (14) aux observations de van Ettingshausen sur le bismuth et les alliages de zinc et de bismuth. Pour ces alliages, c change de signe pour une certaine valeur du champ, variable avec la teneur en zinc; au contraire le coefficient α observé a toujours le même signe. Pour le bismuth, on trouve

α calculé	α observé
0,000101	0,00005
0,000133	0,00057.

Pour ces corps la formule n'est guère vérifiée.

Remarquons que le courant $-vT\theta'$ résulte de la superposition du courant relatif à l'effet Joule et du courant relatif à l'effet Thomson. Or ce dernier est nul puisqu'il n'existe pas de chutes de température dans la lame par hypothèse, donc il semblerait plus logique dans cet ordre d'idées, de ne faire subir la rotation de Hall qu'au premier courant. On arrive ainsi à une formule qu'on ne peut comparer aux observations précédentes car les données sont insuffisantes.

2. Un *courant thermique traverse la lame dans la direction — oy.*

Courant A	$X = 0$	$Y = \theta' T_y$	$Z = 0$
Courant C	$U = 0$	$V = -\gamma T_y$	$W = 0$
	$u = 0$	$v = 0$	$w = 0.$

La force électromotrice Y subit l'effet Hall et donne l'*effet magnétique de Nernst.* La force électromotrice qui prend naissance par rotation Y est :

$$X_1 = -\frac{c}{\rho} H\theta' T_y . \tag{15}$$

Les isothèrmes du courant tournent sous l'action du champ et donneront l'effet Leduc.

$$U' = + MH\gamma T_y$$

d'où une différence de température rapportée à l'unité de longueur :

$$T_x = MHT_y \tag{16}$$

M est un coefficient analogue au coefficient de rotation de Hall.

Comparaison de la formule (15) *avec l'observation.* — Des équations (9) on déduit facilement pour le pouvoir thermo-électrique φ_M du métal par rapport au plomb :

$$\varphi_M = \frac{\partial \varepsilon}{\partial T} \theta'_M - \theta'_{Pb} .$$



D'après la formule (10) connue $\sigma_{Pb} = o$, on a

$$\theta'_{Pb} = o \text{ ou une constante.}$$

1. θ'_{Pb} est nul. Alors la formule (15) devient

$$X_1 = -\frac{c}{\rho} \varphi_M H T_y$$

et donne pour le coefficient thermomagnétique K

$$K = -\frac{c}{\rho} \varphi_M. \qquad (17)$$

Voici les tableaux de comparaison de la formule (17) de Voigt avec les observations de Nernst et les miennes. les valeurs de φ_{20} sont déduites des mesures de Mathiessen, Tait, Knot et Batelli :

		Bismuth	Antimoine	Nickel	Cobalt	Fer	Acier	Cuivre	Zinc
Nerst	φ_{20}	+8800	−2240	+2280	+2200	−1619	−1731	−152	−279
	$-\frac{c}{\rho}\varphi_{20}$	+0,337	+0,0097	+0,0039	−0,00094	+0,00180	+0,00114	−0,000047	−0,000018
	K obs.	+0,196	+0,0094	+0,0073	+0,00154	−0,00156	−0,0060	−0,000073	−0,000054

	φ_0	$-\frac{c_0\varphi_0}{\rho_0}$	K_0 observé
Fer doux	−1062	+0,000636	−0,000646
Acier doux	−1351	+0,000814	−0,000596
Cobalt	+1318	−0,000512	−0,00146

Dans ce dernier tableau, qui se rapporte à mes observations, φ_0 est le pouvoir thermoélectrique à zéro déduit des expériences faites sur les échantillons qui ont servi aux déterminations de c et de ρ.

On voit que la formule de Voigt n'est pas aussi bien vérifiée que la formule (3). Pour le fer et l'acier elle donne même des effets opposés à ceux observés.

2. θ'_{Pb} *est une constante qui n'est pas nulle.*

La formule (17) donne

$$K = -\frac{c}{\rho}(\varphi_M + \theta'_{Pb}). \qquad (18)$$

On donnera à K, dans cette équation (18), les valeurs observées pour les différents corps et on tirera θ'_{Pb}. On obtient ainsi des nombres très différents en grnndeur et en signe, donc cette seconde hypothèse est impossible.

Conclusion. — L'interprétation que j'ai donnée de l'effet Nernst parait être la seule exacte. L'effet thermomagnétique doit être considéré comme un effet Hall des différences de potentiel qu'une différence de température provoque entre deux éléments d'un même corps conducteur. Les recherches de Nernst et les miennes semblent ainsi établir l'existence réelle de ces forces de contact et vérifier la conception de Thomson sur la nature des courants thermo-électriques.

G. MOREAU.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

PILES ET ACCUMULATEURS

Pile à gaz Andrew Plecher. *Centralblatt für Accumulatoren und Elementenkunde*, t. I, p. 315, 15 septembre 1900. Brevet américain 655110, du 23 novembre 1899.

Les figures 1 et 2 donnent une coupe perpendiculaire et une vue en élévation de cette pile. Les vases A sont constitués par un mélange d'argile ou de plâtre et d'une solution de chlorure de platine ou de chlorure de palladium. Après le séchage les vases sont cuits afin de les durcir et de décomposer le chlorure. Les parois intérieures des vases sont garnies d'un réseau conducteur formant électrode x et relié au conducteur extérieur X. Une électrode semblable y règne extérieurement et est reliée au conducteur Y.

La partie inférieure de la pile est constituée par une chambre W munie d'un robinet d'écou-

lement *a* et d'une conduite d'hydrogène H. L'oxygène est emprunté à l'air atmosphérique. Grâce au platine ou au corps semblable finement divisé, la combinaison se produit dans les parois de l'élément. L'eau qui en résulte ruisselle des

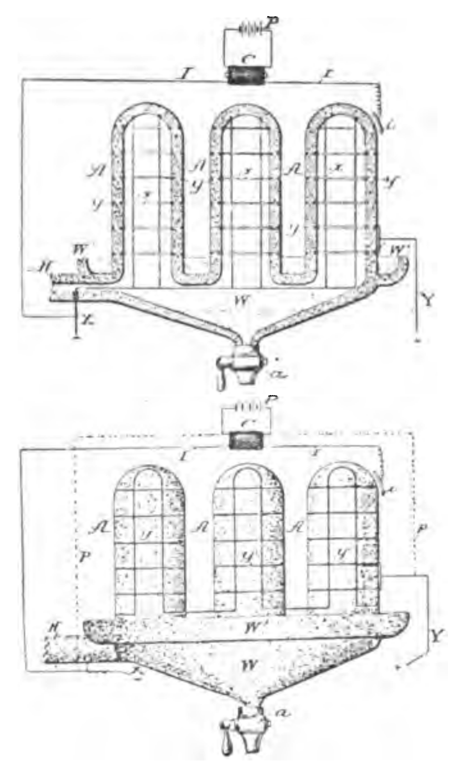


Fig. 1 et 2.

parois et tombe dans la chambre W intérieurement, et dans les rigoles W' extérieurement.

Afin d'accélérer la combinaison, on peut faire usage d'une bobine d'induction C dont le circuit secondaire est relié d'une part au pôle X de la pile et d'autre part au conducteur *i* situé à faible distance de la paroi extérieure du vase. Le circuit primaire de la bobine peut être alimenté soit par une pile spéciale P, soit encore par la pile à gaz elle-même; dans ce dernier cas, les fils *pp'* (fig. 2) relient le circuit primaire de la bobine aux deux pôles X et Y de la pile.

Un autre avantage de l'emploi de la bobine d'induction est de chasser l'eau formée des pores du vase et d'empêcher par suite une polarisation. Pour son fonctionnement, cette pile n'a donc pas besoin d'un électrolyte, la présence de celui-ci étant plutôt nuisible. L'évaporation de l'eau de combinaison peut être accélérée par un courant d'air ou de gaz sec. Enfin la pile peut servir également pour la combinaison d'autres gaz que l'oxygène et l'hydrogène.

L. J.

Accumulateur Weymersch. Brevet anglais 15017 du 21 juin 1899. Brevet français 297345 du 15 février 1900.

La matière active est constituée par un mélange d'oxydes et d'eau acidulée renfermant une certaine proportion, 50 p. 100 environ, de pyridine ou de composés de même nature. Les plaques sont séchées après leur empâtage. On les trempe ensuite alternativement dans une solution d'acide sulfurique ou chlorhydrique étendue et dans un mélange de 6 parties d'eau, 3 parties de pyridine et 1 partie d'alcool.

On obtiendrait ainsi une matière active très dure, donnant une grande capacité et une longue durée.

L. J.

Batterie-tampon de la Peekskill Traction Company à Peekskill, New-York. *Electrical Review*, New-York, t. XXXVI, p. 269, 14 mars 1900.

La ligne de tramways a environ 8 km de longueur; elle part de la station du New-York Central Railroad et aboutit, par des pentes variant de 1 à 8 p. 100, à Peekskill.

Le service se fait actuellement avec 3 ou 4 voitures. Par suite de ce petit nombre de voitures et de l'importance des rampes, les variations de débit sont très grandes.

L'énergie est fournie par la Peekskill Lighting Company, la compagnie de traction payant au kilowatt-heure consommé. Cette solution était plus économique que la construction d'une usine spéciale. Cette station centrale est située à environ 800 m de l'extrémité la plus basse de la ligne et sur la plus forte rampe, mais non la plus longue.

En plus des machines et génératrices qui produisent la lumière, l'installation comprend une machine génératrice bipolaire Edison, de 60 kilowatts sous 500 volts et un survolteur, commandés par la même machine.

Une batterie-tampon complète cette installation qui suffit parfaitement à assurer le service normal.

Dans le cas de service exceptionnel, on se sert d'une génératrice multipolaire de 120 kilowatts actionnée par une machine compound verticale

qui en temps normal fait tourner un des alternateurs du circuit d'éclairage.

Un tableau spécial porte les instruments de mesure et de manœuvre nécessaires à assurer le service de la ligne de tramways.

La batterie comprend 262 éléments du type F. 9 fabriqués par la Electric Storage Battery Company, de Philadelphie.

Chaque élément se compose de 9 plaques ayant 267 mm hauteur et 267 mm largeur, suspendues dans des bacs en verre dont les dimensions extérieures sont : hauteur 394 mm, longueur 317 mm, largeur 270 mm ; ces dimensions sont suffisantes pour permettre l'addition de 4 plaques supplémentaires, ce qui augmenterait la capacité de 50 p. 100.

Les bacs en verre sont posés dans des plateaux en bois remplis de sable et supportés par les chantiers en bois au moyen d'isolateurs.

Les plaques négatives sont du type à pastilles de chlorure coulé ; et les positives, du type Planté à spirales de plomb doux.

Au régime normal, la batterie peut débiter 40 ampères pendant sept heures ; elle est capable de débiter 160 ampères pendant de courtes périodes ; en fait, comme batterie-tampon, elle est souvent appelée à débiter momentanément à des régimes bien supérieurs et qui peuvent atteindre 250 ampères.

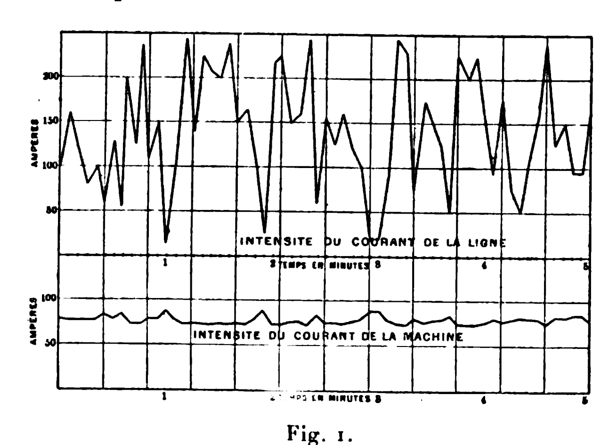


Fig. 1.

On a relevé sur la figure 1 les diagrammes de l'intensité de la ligne et de la machine génératrice pendant le fort débit à 7 heures du soir, le 27 septembre 1899 ; les lectures étaient faites toutes les cinq secondes.

Les deux courbes montrent l'efficacité du rôle de la batterie-tampon : alors que l'intensité sur la ligne varie de 15 à 250 ampères, celle de la génératrice reste sensiblement constante. On peut même remarquer ici qu'au moment des forts débits sur la ligne, l'intensité de la génératrice diminue légèrement au lieu d'augmenter.

Ce fait est explicable par la disposition du survolteur ; on a, depuis, légèrement modifié celui-ci de telle sorte que la machine génératrice fournit aussi une faible partie des excès de débit (supérieurs au débit moyen).

L'écart des intensités du courant de la batterie entre le maximum de la décharge et le maximum de la charge fut de 250 ampères.

En résumé, l'emploi de la batterie-tampon a permis de réaliser ici une exploitation économique, puisque sans elle on aurait dû adopter une machine beaucoup plus puissante qui aurait toujours travaillé loin de sa pleine charge, c'est-à-dire avec un faible rendement.

L'adjonction d'un survolteur à la batterie-tampon n'étant pas fréquente, cette installation nous a paru intéressante à signaler.

L. J.

DISTRIBUTION

Méthode graphique pour la détermination des intensités et des tensions des systèmes polyphasés, par **F. Blanc.** *Elektrotechnische Zeitschrift,* t. XXI, p. 733 et 749, 30 août 1900 et 6 septembre 1900.

Dans les systèmes polyphasés à 3 conducteurs, on ne peut pas connaître immédiatement les valeurs des tensions aux bornes de résistances connues couplées en étoile. Les différences de potentiel entre le centre de l'étoile et les lignes dépendent de la grandeur des résistances et des impédances. Grâce à la méthode exposée ici, on peut déterminer exactement la valeur des tensions et des intensités, si l'on connaît les tensions de la ligne ainsi que les valeurs des résistances et des impédances. Nous supposerons que les tensions de ligne ne varient pas par suite de pertes en lignes ou de réactions d'induit. Dans tout ce qui suit nous désignerons sous le nom de résistances les résistances apparentes dont les constantes de temps $\frac{\omega L}{R}$ sont indépendantes des valeurs absolues des résistances. Ainsi l'expression 5 ohms + 40° voudra dire que $\frac{e}{I} = 5$ et que I est en retard de 40° sur I.



Nous commencerons par examiner le cas simple d'un système monophasé à 2 conducteurs aux bornes desquels sont branchées deux résistances en série.

1° Cas de 2 résistances non inductives

$$w_1 \text{ avec } \varphi_1 = 0,$$
$$w_2 \text{ avec } \varphi_1 = 0.$$

La somme des résistances s'obtient alors en additionnant algébriquement. Le potentiel de leur point de jonction s'obtient en partageant

A D B

Fig. 1.

le vecteur AB (fig. 1) qui représente E dans le rapport des résistances. On obtient ainsi le point D.

2° Cas de résistances inductives :

$$w_1 = 5\,w \quad \varphi_1 = 60^\circ \quad \text{branché en A}$$
$$w_2 = 3\,w \quad \varphi_1 = 20^\circ \quad \text{branché en B.}$$

La résistance composée s'obtient (fig. 2) en

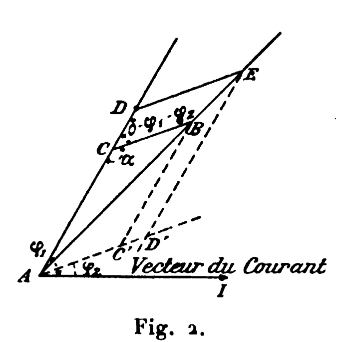


Fig. 2.

portant sur AD décalé de φ_1 la résistance w_1 et à partir de C la résistance w_2 décalée de φ_2. AB donne en grandeur et sens la résistance résultante et la direction de la tension de la ligne. Soit AE la valeur de cette tension. En menant DE parallèle à BC, on obtient le point D_1 ; DA et DE, sont les chutes de tensions respectives dans les deux résistances. Remarquons qu'en intervertissant l'ordre des résistances, on aurait obtenu la même résultante, mais le potentiel du point de jonction aurait été donné par D'.

Dans ce qui précède, la tension résultante s'obtient par la construction ; si elle est donnée en grandeur et direction et si l'on veut trouver les valeurs sans construction auxiliaire, on procédera comme suit, Soit (fig. 3) AB la tension, E par exemple égale à 100 volts et supposons que

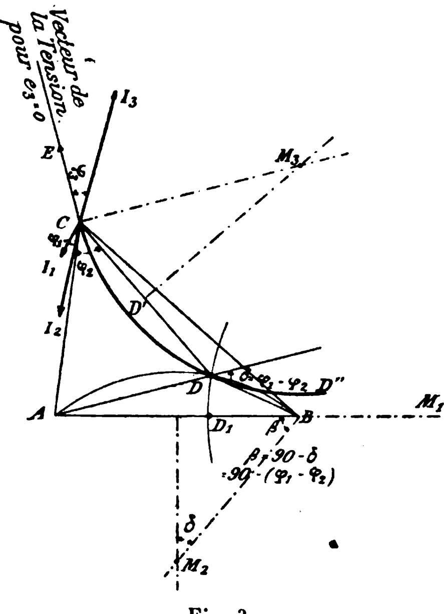


Fig. 3.

les résistances aient les mêmes valeurs que ci-dessus. Partageons AB en 2 parties de telle sorte que

$$\frac{AD_1}{D_1B} = \frac{w_1}{w_2} = \frac{5}{3} = \frac{62,5\text{ V}}{37,5\text{ V}}.$$

Faisons ensuite passer un cercle par D_1, ayant pour rayon

$$r = \frac{AD_1 . D_1B}{AD_1 - D_1B} = 93,7$$

dont le centre M_1 sera toujours extérieur au segment AB, et dont la direction sera déterminée par la règle suivante. Un observateur, placé au point où w_1 est branché sur la ligne et regardant le point de jonction avec w_2, verrait l'arc de cercle dans le sens de rotation du vecteur des temps, si $\varphi_1 - \varphi_2 < 0$ et dans le sens inverse à partir de D_1 si $\varphi_1 - \varphi_2 > 0$. Dans notre cas

$$\varphi_1 - \varphi_2 = 60^\circ - 20^\circ = + 40^\circ.$$

Le point D vu du point A est situé sur l'arc de cercle dans le sens des aiguilles d'une montre. On a

$$\frac{DA}{DB} = \frac{D_1A}{D_1B} = \frac{w_1}{w_2}.$$

Si sur AB comme corde on décrit un arc de cercle tel que $\varphi_1 - \varphi_2 = 40°$, cet arc coupe le précédent en un point D qui donne le potentiel au point de jonction. Remarquons que le centre M_2 de cet arc est situé de l'autre côté de la corde tant que $\varphi_1 - \varphi_2$ est compris entre o et $\pm 90°$ et qu'il est situé du même côté tant que $\varphi_1 - \varphi_2$ est compris entre $\pm 90°$ et $\pm 180°$.

Supposons ensuite une troisième ligne C reliée au point D par une résistance $w_3 = \infty$, cela ne changera pas la position du point D. C'est là un cas particulier d'un système polyphasé. Supposons que la position du point C soit telle que

$$AB = E_1 = 100 \text{ volts}$$
$$BC = E_2 = 120 \quad »$$
$$CA = E_3 = 80 \quad »$$

Faisons ensuite varier la résistance w_3 depuis ∞ jusqu'à o, l'angle de décalage φ_3 restant constamment égal à 30°. Le point D' décrira une courbe de D à C, car pour $w_3 = 0$ il vient en C. Cette courbe est un arc de cercle dont le centre se détermine de la façon suivante :

Pour $w_3 = o$, on a :

$$I_1 = \frac{CA}{w_1} = \frac{80}{5} = 16 \text{ ampères avec } \varphi_1 = 20°$$

$$I_2 = \frac{CB}{w_2} = \frac{120}{3} = 40 \text{ ampères avec } \varphi_2 = 60°$$

On en déduit graphiquement $I_3 = 56$ ampères dans la direction indiquée par la figure. Le vecteur représentant la tension e_3, qui dans ce cas est nulle, est décalé de $\varphi_3 = 30°$ dans la direction CE. La corde DC représente, pour chaque position du point D, la tension en grandeur et sens. Donc, à la limite, elle est tangente au cercle cherché qui se trouve ainsi déterminé par cette tangente et les 2 points C et D.

Il reste à déterminer sur lequel des 2 arcs de cercle DD'C ou DD''C il faut choisir sur le cercle. Si le point D se déplace vers le point C par suite de la décroissance de la résistance ω_3, il faut que, pour la limite $w_3 = 0$ le vecteur de la tension soit dans la direction du déplacement du point D.

Si la résistance w_3 a une valeur déterminée, avec le même angle de phase φ_3, on doit trouver sur l'arc de cercle ainsi determiné un point qui corresponde à cette résistance. Pour cela, on laissera par exemple w_1 et w_2 constants et on fera varier w_2 depuis ∞ jusqu'à o ; on aura ainsi un nouvel arc de cercle, passant par B et coupant le précédant en 2 points. On distinguera le point convenable en répétant la construction pour le troisième cas (w_1 variable) (ou bien on distinguera les 2 cas comme précédemment). Le troisième arc de cercle passera par l'un des points d'intersection précédemment déterminés, et ce point sera le point cherché.

Pour compléter le diagramme, on mènera les 3 lignes de tension DA, DB, DC et on portera à partir de D :

$$I_1 = \frac{DA}{w_1} \qquad I_2 = \frac{DB}{w_2} \qquad I_3 = \frac{DC}{w_3}.$$

D'après la loi de Kirchhoff, la somme de ces 3 constantes doit être nulle : on le vérifiera.

L'auteur applique cette théorie à un certain nombre d'exemples pratiques [1].

---

[1] 1er EXEMPLE. — Supposons que toutes les résistances

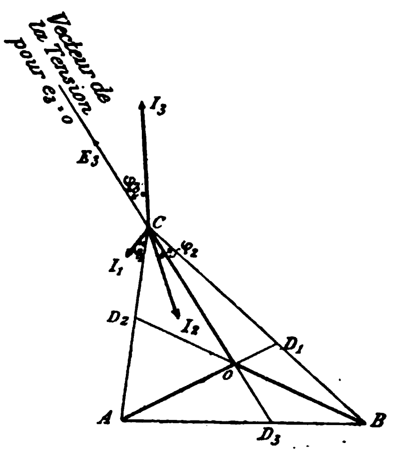


Fig. 4.

donnent le même décalage (ce qui comprend aussi le cas des résistances non inductives. Soit (fig. 4).

$$w_1 = 5w \quad \varphi_1 = 30° \quad E_1 = 100 \text{ volts}$$
$$w_2 = 5w \quad \varphi_2 = 30° \quad E_2 = 120 \quad »$$
$$w_3 = 4{,}4w \quad \varphi_3 = 30° \quad E_3 = 80 \quad »$$

Partageons toutes les lignes de tension dans le rapport des résistances qui sont connectées aux lignes correspondantes. Comme tous les δ sont nuls, les 3 points D se trouvent sur les lignes de tension et coïncident avec les points $D_1 D_2 D_3$. Si nous faisons varier w_3, pour $w_3 = \infty$ le potentiel du point neutre est donné par le point D_3. Donc

USINES ÉLECTRIQUES

Evaluation des prix de revient et de vente de l'énergie captée aux chutes d'eau des Alpes dauphinoises, par **E. Dusaugey**. D'après une brochure de l'auteur, éditée par A. Gratier et Cie, de Grenoble.

Les Alpes dauphinoises sont riches en chutes d'eau dont beaucoup ne sont pas encore utilisées. M. Dusaugey qui, par ses fonctions d'ingénieur-directeur de la Société d'énergie élec-

---

le cercle passe par D_3 et C. Pour $w_3 = 0$.

$$I_1 = \frac{CA}{w_1} = \frac{80}{5} = 16 \text{ ampères } \varphi_1 = 30^\circ$$

$$I_2 = \frac{CB}{w_2} = \frac{120}{3} = 40 \text{ ampères } \varphi_2 = 30^\circ.$$

On en déduit graphiquement $I_3 = 49$ ampères, suivant la direction CI_3. Le vecteur de la tension est décalé de 30° par rapport à I_3. Donc ce vecteur coïncide avec la direction CD_3. Il en résulte que l'arc de cercle se réduit à la droite CD_3. De même D_1A et D_2B sont les lieux géométriques des points correspondant à w_1 ou w_2 variable. Ces 3 lignes se coupent donc en un point qui donne le potentiel du centre de l'étoile.

2° EXEMPLE. — Soit un transport de force de 100 kilowatts avec 1 000 volts par phase et 100 périodes par seconde. Le courant est diphasé à 3 fils ; le schéma est donné par la figure 5. La distance est de 2,5 km, les sections des fils sont de 25 mm² pour les fils externes, de 35 mm² pour le fil neutre. Soit 30 cm la distance entre les 3 fils.

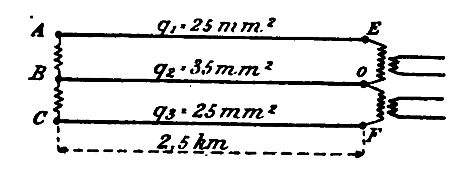


Fig. 5.

Les résistances sont : w_1, comprenant la résistance apparente de la ligne A, plus la résistance apparente du transformateur chargé ; w_3 comprenant la résistance analogue de la ligne C et du transformateur jusqu'au point o. Supposons $w_1 = 21$ ohms, avec un décalage de 35° et $w_3 = 15$ ohms avec un décalage de 60°.

La résistance ohmique de w_2 est

$$r_2 = \frac{2\,500}{35,58} = 1,23 \text{ ohms.}$$

La résistance inductive est égale à $\omega L l\, 10^{-7}$, si l est la longueur simple en unités et s'

$$L = 1,88 + 4,605 \log_{10} \frac{e}{d}$$

d est le diamètre du fil et e la distance qui sépare 2 fils.

La constante de temps est donc égale à

$$\tau_2 = \text{tg}\,\varphi_2 = \frac{\omega L l\, 10^{-7}}{\frac{l}{qk}} = \omega q k L\, 10^{-7}$$
$$= 314.35.58.9,5.10^{-7} = 0,605.$$

Donc φ_2 est sensiblement égal à 31° et l'on a

$$w_2 = \frac{1,23}{\cos 31^\circ} = 1,44 \text{ ohm.}$$

On a donc, en résumé

$E_1 = 1\,000$ volts	$w_1 = 21$ ohms	avec 35°
$E_3 = 1\,000$ »	$w_2 = 15$ »	avec 60°
$E_2 = 1\,414$ »	$w_2 = 1,44$ »	avec 31°.

Nous ferons varier successivement w_2 et w_3 (fig. 6).

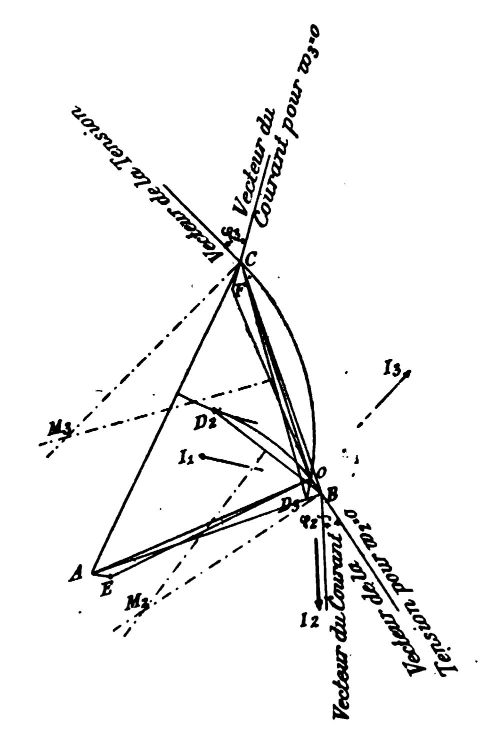


Fig. 6.

Déterminons les points D_2 et D_3 en faisant successivement w_2 et w_3 infinis, on finit par trouver les vecteurs de tension BE_2 et CE_3. Les arcs de cercle ainsi déterminés D_2B et D_3C se coupent en O. On trouve

$OA = e_1 = 981$ volts	tension entre O et A
$OB = e_2 = 78$ »	tension entre O et B
$OC = e_3 = 927$ »	tension entre O et C

trique de Grenoble, se trouve avoir une grande compétence sur la question de l'utilisation de ces chutes, a voulu établir à quel prix maximum l'énergie captée à ces chutes pourrait revenir aux lieux où il est possible de l'employer.

Il suppose une chute de 220 m de hauteur d'un débit moyen de 4 000 litres par seconde, avec débit minimum de 2 700 litres; une telle chute donnerait une puissance moyenne brute de 11 700 chevaux avec minimum de 7 900 chevaux, soit approximativement 8 800 chevaux ou 6 475 kilowatts de puissance moyenne sur l'arbre des turbines, avec minimum de 6 000 chevaux ou 4 400 kilowatts.

Cette hypothèse faite, M. Dusaugey établit un devis des frais d'installation et des frais d'exploitation d'une usine transformant l'énergie de cette chute en courants triphasés à 20 000 volts, d'une ligne primaire transmettant ces courants à 60 km de l'usine, de sous-stations transformatrices abaissant la tension à 225 volts et enfin du réseau de distribution à basse tension.

Usine génératrice. — Se plaçant dans des conditions peu favorables, il admet que l'eau est amenée par un tunnel de 6 km de longueur et de 2,5 m^2 de section et une conduite descendante, en tôle, de 330 m de longueur et de 1,45 m de diamètre; pour l'usine, il prévoit un vaste bâtiment rectangulaire de 49 m de long et de 24,5 m de large divisé en quatre salles : une salle pour cinq groupes électrogènes de 1 500 kilovolts-ampères donnant des courants triphasés à 250 volts; une salle pour cinq groupes de quatre transformateurs de 375 kilowatts chacun, portant la tension à 20 000 volts; enfin deux salles plus petites pour le magasin et l'atelier de réparation. Estimant chaque partie de l'installation à un prix de revient très élevé en raison des difficultés de transport que l'on rencontre dans les pays montagneux, il arrive aux chiffres donnés dans la seconde colonne du tableau I, tableau dont les colonnes suivantes indiquent le mode de calcul des sommes afférentes à l'intérêt et à l'amortissement des dépenses de premier établissement.

On voit par la colonne 1 que le total de celles-ci monte à 2 463 000 fr; la puissance minima disponible étant supposée de 4 400 kilowatts, le prix maximum du kilowatt ressort donc à $\frac{2\,463\,000}{4\,400}$ soit 360 fr, chiffre supérieur à celui atteint dans plusieurs installations existantes.

D'après la dernière colonne du tableau, l'intérêt et l'amortissement du capital de premier établissement grèvent les dépenses annuelles d'une somme de 231 055 fr. A cette somme doivent être ajoutés les frais d'exploitation, lesquels se divisent en frais fixes indépendants de la quantité d'énergie fournie par l'usine et en frais variables avec cette quantité. Les premiers comprennent les traitements et appointements du personnel : directeur (10 000 fr), ingénieur (6 000 fr), chef de station (3 600 fr), aides-électriciens (6 700 fr), garde-vannes (1 200), 2 comptables (5 600 fr), 2 dessinateurs (4 000 fr), employés (1 000 fr), impôts (20 000 fr), assurances (4 500 fr), redevances (4 500 fr), frais divers (1 800 fr), imprévus (4 000 fr) soit un total de 82 900 fr qu'il convient d'ajouter aux 231 055 fr précédents, ce qui donne 313 955 fr. Les frais de la seconde catégorie, évalués en supposant une

---

e_2 est la perte de tension du conducteur central. Les intensités sont

$$A = \frac{OA}{w_1} = 46,7 \text{ ampères avec } 35^\circ$$

$$B = \frac{OB}{w_2} = 54,2 \text{ ampères avec } 31^\circ$$

$$C = \frac{OC}{w_3} = 61,7 \text{ ampères avec } 60^\circ$$

La somme géométrique des trois courants est nulle.

Remarquons que l'intensité du conducteur central est comprise entre les deux autres. Cette intensité est d'autant plus petite que le décalage entre les courants A et C est plus grand et que la résistance du conducteur central est plus petite. Donc il est à recommander, pour diminuer la perte dans le cuivre et la chute de tension, de mettre la plus grande self-induction dans la phase qui suit l'autre tout en étant du même sens.

Les tensions aux extrémités de la ligne entre OE et OF s'obtiennent en retranchant graphiquement la chute de tension dans les conducteurs externes des tensions OA et OB. La résistance d'un conducteur externe est de 1,9 ohms avec un décalage de 24°. On a donc une perte de tension

$$AE = 1,9 \times 46,7 = 88,5 \text{ volts};$$
$$CF = 1,9 \times 61,7 = 117 \text{ volts};$$

toutes les deux décalées de 24° par rapport aux courants respectifs.

Les tensions OE et OF ont donc pour valeurs

$$OE = 908 \text{ volts}$$
$$OF = 835 \text{ volts.}$$

E. B.

TABLEAU I. — *Frais de premier établissement d'une usine de 8 000 chevaux.*

	COUT	TAUX DE l'intérêt.	TAUX DE l'amortissement	TOTAL	SOMMES correspondantes.
	fr.	p. 100.	p. 100.	p. 100.	fr.
Achat de la chute, frais d'organisation et d'études	525 000	5	0	5	16 250
Ouvrages de prise d'eau	80 000	5	1,5	6,5	5 200
Canalisation. Tunnel	375 000	5	1,5	6,5	24 375
Canalisation. Conduite en tôle	190 000	5	2	7	13 300
Bâtiments de l'usine	120 000	5	1,5	6,5	7 800
Turbines	150 000	5	5	10	15 000
Alternateurs	425 000	5	8	13	55 250
Manchons d'accouplement	16 000	5	5	10	1 600
Ponts roulants	48 000	5	5	10	4 800
Tableau basse tension	30 000	5	5	10	3 000
Transformateurs	370 000	5	10	15	55 500
Id. de rechange	74 000	5	8	13	9 620
Tableau haute tension	20 000	5	5	10	2 000
Outillage de l'atelier	6 000	5	10	15	900
Chemin d'accès	4 000	5	1,5	6,5	260
Maison d'habitation	10 000	5	2	7	700
Direction, surveillance, frais généraux	60 000	5	0	5	3 000
Imprévus	90 000	5	5 moy.	10	9 000
Intérêts pendant la construction (3 p. 100 sur 2 300 000 fr) pendant un an	70 000	5	0	5	3 500
Totaux	2 463 000				231 055

production annuelle de 18 000 000 kilowatts-heure, ce qui correspond à une marche de 4 400 kilowatts pendant 4 100 heures, s'élèvent à 48 500 fr, dont 7 000 fr pour le graissage, 12 000 fr pour les fournitures de matières premières destinées aux réparations courantes, 16 000 fr pour les grosses réparations, 4 500 fr pour les impôts et assurances, 5 000 fr pour imprévus et 4 000 fr pour le personnel supplémentaire. La somme de tous ces frais est de 313 955 + 48 500 = 362 455 fr soit $\frac{362\,455}{4\,400} = 82{,}35$ fr par kilowatt-an.

LIGNE DE TRANSMISSION. — M. Dusaugey évalue ensuite le prix de revient et les frais de l'exploitation de la ligne de transmission. L'évaluation est faite dans l'hypothèse d'une ligne de 60 km de longueur constituée par six câbles (de manière à avoir deux lignes triphasées) supportés par des poteaux de 10, 12 et 14 m de hauteur et distants de 40 m en alignement droit. Le prix de revient de l'installation complète (non compris le cuivre) est donné par le tableau II qui indique également les sommes correspondantes à l'intérêt et l'amortissement.

TABLEAU II. — *Frais de premier établissement d'une ligne de 60 kilomètres.*

	COUT	TAUX DE l'intérêt.	TAUX DE l'amortissement	TOTAL	SOMMES correspondantes.
	fr.	p. 100.	p. 100.	p. 100.	fr.
Supports	194 148	5	6	11	21 356
Parafoudres	7 200	5	12	17	1 224
Interrupteurs et filets	14 400	5	10	15	2 160
Téléphone	10 800	5	6	11	11 188
Traversées de voies ferrées et pylônes	13 000	5	5	10	1 300
Déplacement de lignes téléphoniques	20 000	5	0	5	1 000
Achat de droits divers	10 000	5	0	5	500
Fausses manœuvres	11 300	5	0	5	565
Imprévus	22 650	5	5	10	2 265
Totaux	303 498				31 558

Afin d'évaluer la dépense en cuivre, M. Dusaugey commence par chercher, suivant la méthode de lord Kelvin, la section de câble qui conduit au minimum de frais d'exploitation [1]. Il arrive à une section de conducteur de 87 mm² de section par phase et, comme pour des raisons de sécurité d'exploitation la ligne est supposée constituée par six conducteurs, ainsi que nous le disions, il se trouve amené à prendre six conducteurs de 45 mm² de section chacun.

En supposant les neuf dixièmes de la ligne établis en câbles nus et un dixième en câbles isolés suivant les prescriptions ministérielles, le prix de revient de ces conducteurs mis en place est de 503 900 fr, somme à laquelle il convient d'ajouter les intérêts à 3 p. 100 du capital dépensé en cuivre et resté improductif pendant la construction de l'usine et la construction de la ligne, soit les intérêts de 450 000 fr pendant un an.

Le tableau II peut alors être complété comme il suit :

	Sommes.	Intérêt. p. 100	Amortiss. p. 100	Total. p. 100	Produits.
Supports . .	303 498		. . .		31 558 fr
Cuivre et matériel . . .	503 900	5	3	8	40 312 »
Intérêts à 3 o/o	13 500	5	0	5	675 »
	820 898				72 545 fr

Les frais d'exploitation de la ligne se réduisent à la surveillance et à quelques réparations. M. Dusaugey suppose la surveillance effectuée par trois équipes de deux hommes avec un cheval, son conducteur et son matériel roulant nécessaire ; elle coûterait 18 000 fr par an. Les

---

(1) La puissance minimum sur l'arbre des turbines étant de 4400 kilowatts et les rendements des alternateurs et des transformateurs pouvant atteindre respectivement 0,94 et 0,97, la puissance débitée par l'usine est de $4\,400\,000 \times 0{,}94 \times 0{,}97$ watts ; en divisant ce produit par $e\sqrt{3}$ soit $20\,000 \times \sqrt{3}$, on a pour l'intensité par phase $I = 116$ ampères.

Les frais fixes de l'usine étant de 313 955 fr et les frais variables de 48 500 fr pour une production de 18 000 000 kilowatts-heure, on peut les exprimer par

$$313\,955 + 0{,}000\,0027\ N$$

N représentant le nombre de watts-heure produits annuellement.

Le prix de premier établissement du kilowat ayant été trouvé égal à 560 fr, celui du watt est de 0,56 fr et l'on peut écrire :

$$B = 0{,}56\,(EI\sqrt{3} + 3RI^2)$$

$EI\sqrt{3}$ étant la puissance utilisée et RI^2 la puissance perdue en ligne.

Quant au prix de revient de la ligne, on peut l'écrire :

$$C = 303\,498 + 3\ b \times S \times 60$$

303 498 étant la valeur en francs donnée par le tableau II, S la section d'un fil de ligne en millimètres carrés et *b* le prix d'un fil mis en place rapporté au mm² de section et au km de longueur. La valeur de *b* peut être évaluée en supposant, dans une première approximation, qu'il s'agisse d'un câble de 50 mm² de section dont 1/10 soit isolé ; on a alors pour 1 000 mètres :

900 m câble nu, 50 mm² section, pesant 450 kg à 250 fr le kg à pied d'œuvre. . . .	1 125 fr
100 m câble isolé à 2,60 fr le m à pied d'œuvre.	260 »
Main d'œuvre à 0,05 fr le mètre . . .	50 »
Cuivre pour ligatures, et surveillance.	65 »
	1 500 fr

et en rapportant au millimètre carré, $b = 30$.

L'énergie perdue sur la ligne sera, en watts-heures, $3RI^2 \times 4100$, le nombre d'heures de fonctionnement ayant été supposé de 4100 ; en adoptant 2 microhms par centimètre cube pour la résistivité du cuivre, on a

$$\frac{3 \times 2 \times 60 \times 10^5 \times 10^2}{10^6\ S} \times \overline{116}^2 \times 4100 = \frac{199 \times 10^9}{S} \text{ watts-heure,}$$

et la dépense correspondante à cette énergie perdue est

$$\frac{199 \times 10^9}{S} \times 0{,}000\,0027 = \frac{537\,300}{S}$$

A cette dépense doivent être ajoutés l'intérêt et l'amortissement du capital d'établissement de l'usine et de la ligne. Pour l'usine la somme des taux de l'intérêt et de l'amortissement est de 10 p. 100 en moyenne ; pour la ligne cette somme est moindre, l'amortissement du cuivre étant faible, on peut prendre 8 p. 100. Par conséquent la dépense annuelle devient

$$A = \frac{537\,300}{S} + 0{,}1\,B + 0{,}08\,C = \frac{537\,300}{S}$$

$$+ 0{,}056\,[EI\sqrt{3} + 3RI^2] + 0{,}08\,(303\,498 + 3 \times 30 \times S \times 60]$$

En remplaçant RI^2 par sa valeur en fonction de S, on trouve :

$$A = \frac{537\,300}{S} + 0{,}056\left(EI\sqrt{3} + \frac{48441600}{S}\right)$$

$$+ 0{,}08\,(303498 + 5400\ S),$$

et en écrivant que la dérivée de A par rapport à S est est nulle, on arrive à une équation du second degré en S qui donne

$$S = 87\ \text{mm}^2$$

pour la section la plus économique des conducteurs d'une même phase



réparations courantes (remplacement des isolateurs, entretien des parafoudres, etc.) sont estimées à 6 000 fr (100 fr par kilomètre). Au total une somme de 24 000 fr qui, ajoutée à l'intérêt et à l'amortissement, donne 96 545 fr pour les dépenses afférentes à la ligne, soit 21,95 fr par kilowatt-an sur l'arbre des turbines.

Sous-stations. — L'auteur admet l'installation de trois sous-stations transformatrices contenant chacune six transformateurs (dont deux de rechange) de 325 kilowatts. Chaque sous-station reviendrait à 128 400 fr dont le détail suit :

	Sommes.	Intérêt. p. 100	Amortiss. p. 100	Total. p. 100	Produits.
Terrain. . .	1 100	5	0	5	55,00 fr
Bâtiments. .	5 500	5	1,5	6,5	292,50 »
Transformateurs. . .	102 000	5	10	15	15 300,00 »
Parafoudres et tableaux. .	17 000	»	5 »	10 »	1 700,00
Outillage . .	2 800	»	10 »	15 »	420,00
	128 400				17 767,50

Pour les trois sous-stations, la dépense annuelle serait donc de 53 302 fr, auxquels il convient d'ajouter 5 800 fr pour les fournitures de l'atelier et entretien, et 8 100 fr pour le personnel ; soit un total de 67 202 fr ou 15,25 fr par kilowatt-an sur l'arbre des turbines.

Lignes secondaires. — L'installation de lignes secondaires à 225 volts est évaluée à 120 240 fr, dont l'intérêt et l'amortissement reviennent à 10 500 fr par an ; en ajoutant 1 500 fr pour fournitures diverses d'entretien, on obtient une dépense annuelle de 12 000 fr, soit 2,73 fr par kilowatt-an sur l'arbre des turbines.

Prix de revient total. — Le coût d'installation et les frais annuels correspondants sont, d'après ce qui précède :

	Coût	Frais annuels
Usine	2 463 000 fr.	362 455 fr.
Ligne de transmission.	820 898 »	96 545 »
Sous-stations.	393 200 »	67 202 »
Lignes secondaires . .	120 240 »	12 000 »
Totaux . . .	3 797 338 fr.	538 202 fr.

Le prix de revient du kilowatt-an sur l'arbre des turbines se trouve être de 122,32 fr.

Pour avoir le prix de revient du kilowatt-an disponible aux extrémités des lignes secondaires, il faut évaleur le rendement total de l'installation électrique. Le rendement des alternateurs a déjà été supposé égal à 0,94 et celui des transformateurs élévateurs de 0,97. Le rendement de la ligne s'obtient en évaluant l'énergie perdue par effet Joule et en tenant compte du décalage entre le courant et la force électromotrice résultant de l'inductance ; M. Dusaugey arrive à 0,82 pour ce rendement. En prenant 0,97 pour celui des transformateurs réducteurs de tension, on obtient un rendement global de

$$0{,}94 \times 0{,}97 \times 0{,}82 \times 0{,}97 = 0{,}725$$

et le prix de revient du kilowatt-an disponible ressort à

$$\frac{122{,}32 \text{ fr}}{0{,}725} = 168{,}50 \text{ fr}.$$

Prix de vente. — Il convient d'établir ce prix pour les usines ne fonctionnant que le jour, soit environ 3 000 heures par an, et pour les usines où le travail est continu et qui fonctionnent pendant 7 700 heures par an.

Les frais annuels étant de 538 202 fr dans l'hypothèse d'une marche à 4 400 kilowatts et 48 500 fr étant les frais proportionnels à la quantité d'énergie débitée, on aura pour les frais correspondants à une puissance P_1 pendant 3 000 heures et à une puissance P_2 pendant 7 700 heures :

$$F = 489702 + 0{,}0027\,(P_1 \times 3000 + P_2 \times 7700)$$

les puissances étant exprimées en kilowatts. En appelant p_1 et p_2 les prix auxquels il convient de vendre le kilowatt pendant 10 heures et pendant 24 heures par jour pour couvrir les frais, on doit avoir :

$$p_1 P_1 \times 0{,}725 + p_2 P_2 \times 0{,}725 = F.$$

En supposant toute l'énergie vendue à des usines ne fonctionnant que le jour, on trouve $p_1 = 164{,}70$ fr, et en la supposant vendues à des usines à fonctionnement continu on obtient $p_2 = 182{,}15$ fr.

Suivant M. Dusaugey ces prix sont trop peu différents pour être strictement appliqués. Ils créeraient aux industries fonctionnant d'une manière continue une situation privilégiée en comparaison de celle qu'elles auraient si l'énergie leur était fournie par des machines à vapeur, puisque dans ce dernier cas les frais proportionnels à la quantité d'énergie utilisée sont de beaucoup supérieurs aux frais fixes d'installation. Pour ne pas rompre complètement avec les habitudes

actuelles il propose un tarif croissant, avec la quantité d'énergie consommée, plus rapidement que celui résultant de l'application de l'équation ci-dessus ; il arrive ainsi à $p_1 = 140$ fr et $p_2 = 224$ fr comme prix minimum de vente sans tenir compte des bénéfices.

Quant à la perception des prix de vente elle peut se faire d'après trois bases différentes : 1° L'énergie vendue est comptée aux bornes du tranformateur secondaire ; les prix de vente sont alors ceux qui viennent d'être déterminés ; 2° Elle est comptée aux bornes des moteurs ; les prix précédents doivent être majorés d'environ un dixième afin de tenir compte des pertes dans la ligne secondaire ; 3° Elle peut être évaluée sur l'arbre du moteur ; il faut alors diviser par le rendement du moteur les prix obtenus dans le cas précédent.

A propos de ces modes de vente, M. Dusaugey fait observer que l'on devrait faire entrer dans le calcul du prix de vente, le décalage introduit par l'installation du consommateur ; c'est l'idée développée l'an dernier par M. Benischke et qui a été signalée dans ce journal [1].

ÉCLAIRAGE

Comparaison des divers systèmes d'éclairage public par lampes à arc, par **F.-H. Minshall.** *Electrical World and Engineer*, t. XXXVI, p. 836-839, 1er décembre 1900.

Dans cet article, l'auteur envisage la question de plusieurs points de vue différents : répartition de l'éclairement, consommation des lampes, frais d'entretien, avantages et inconvénients des systèmes actuels de distribution, etc. Ces divers côtés de la question sont, à vrai dire, examinés plutôt simultanément que successivement ; dans l'analyse que nous donnons ci-dessous, nous les séparons autant que possible dans le but de mieux faire ressortir les quelques données intéressantes que nous fournit l'auteur d'après les résultats d'essais faits à Croydon (Angleterre).

1. Répartition de l'éclairement. — La première condition à laquelle doit évidemment satisfaire tout système d'éclairage public est de donner un éclairement très uniforme, ne présentant pas, comme cela arrive trop souvent, des espaces fortement éclairés séparés par des espaces obscurs. Cette condition est malheureusement fort mal remplie par l'éclairage à arc nu et l'emploi de globes opalins s'est trouvé imposé.

Cet emploi occasionne une perte de lumière de 10 p. 100 au minimum avec des globes très clairs et pouvant atteindre 60 p. 100 avec beaucoup de globes en usage. Avec les lampes à arc enfermé, il est possible de n'employer que des globes très clairs, le dépôt qui se forme peu à peu sur la surface interne du petit globe intérieur ne tardant pas à intercepter une notable quantité de lumière ; mais alors le défaut d'uniformité de l'éclairement est accentué après les nettoyages des globes.

2. Consommation des arcs. — Le tableau suivant donne la puissance absorbée par quelques types de lampes d'usage courant pour l'éclairage des rues, d'après des essais faits à Croydon :

	Intensité Ampères.	Tension Volts.	Puissance apparente. Watts.	Puissance vraie. Watts.	Facteur de puissance.
1. Arc libre, courants redressés.	11,8	47	550	520	0,95
2. Arc enfermé alternatif	4,7	200	940	650	0,69
3. Arc enfermé alternatif, type faible cons	3,0	200	600	440	0,74
4. Arc enfermé alternatif, lampes en série	10,0	70	700	530	0,76
5. Arc enfermé alternatif.	6,5	115	770	510	0,66
6. Arc enfermé alternatif.	4,4	206	906	540	0,60
7. Arc libre alternatif, lampes en série.	21,0	37	778	550	0,71

3. Prix de revient annuel. — En supposant les lampes en fonction depuis le coucher jusqu'au lever du soleil, la durée annuelle de fonctionnement est de 3 710 heures. Si l'on prend 0,1565 fr pour le prix de revient du kilowatt-heure à la station génératrice, la dépense annuelle s'élève à 252 fr pour une lampe de 450 watts, à 306 fr pour une de 500 watts et à 360 fr pour une de 650 watts.

Mais ces chiffres ne tiennent pas compte des pertes dans les transformateurs et dans les câbles de distribution. Le rendement global étant d'environ 90 p. 100 dans les distributions par cou-

[1] *Écl. Élect.*, t. XXI, p. 31, 7 octobre 1899.

rants alternatifs et de 85 p. 100 dans les distributions par courants redressés, la dépense réelle se trouve être de 278,5 fr pour la lampe de 450 watts (courants alternatifs), de 360 fr pour celle de 550 watts (courants redressés) et de 401 fr pour celle de 650 watts (courants alternatifs).

Il faut encore considérer la dépense du renouvellement des charbons. Pour la lampe à arc libre inscrite sous le n° 1 dans le tableau précédent, et qui consomme près de 550 watts, il a fallu 70 m de charbons pleins et 70 m de charbons à âme, ce qui correspond à une dépense de 42,3 fr. Pour la lampe à arc enfermé (n° 5), il a fallu 31 m de charbons à âme, ce qui correspond à une dépense de 21,40 fr.

Quant à la dépense résultant du remplacement des globes cassés, l'auteur l'évalue à 2,40 fr par an.

L'intérêt à 5 p. 100 et l'amortissement à 5 p. 100 augmentent la dépense annuelle de 84 fr environ par lampe, les frais d'installation étant en moyenne de 840 fr par lampe. Toutefois pour les lampes à courants redressés, il convient d'ajouter à cette dépense une somme de 16,80 fr par lampe pour tenir compte de l'augmentation des frais qui résultent de l'entretien et de l'amortissement de l'appareil redresseur de courant.

En tenant compte de toutes ces dépenses et de quelques autres moins importantes qui ne sont pas mentionnées dans son article, M. Minshall arrive aux dépenses totales suivantes :

Lampe à arc libre, courants redressés, 550 watts.	541,50 fr.
Lampe à arc enfermé, courants alternatifs, 450 watts.	400,10 »
Lampe à arc enfermé, courants alternatifs, 650 watts.	532,40 »

4. Systèmes de distribution. — *Courant continu.* — La distribution à courant continu peut paraître préférable au premier abord, le rendement lumineux des lampes à courant continu étant supérieur à celui des lampes à courants alternatifs. En réalité, l'alimentation par courant continu d'un réseau d'éclairage public assez important offre d'assez nombreux inconvénients, même dans une ville possédant une usine à courant continu, pour qu'il y ait lieu à discussion.

Si, en effet, on veut utiliser un réseau de distribution à basse tension, cette tension ne sera pas, en général, un multiple exact de la différence de potentiel nécessaire aux bornes de chaque lampe, et il faudra munir chaque série de lampes placée en dérivation sur les conducteurs du réseau d'une résistance de réglage absorbant en pure perte une quantité d'énergie qui n'est pas négligeable. Ainsi sur un réseau à 110 volts alimentant des lampes à arc libre de 10 ampères exigeant environ 45 volts, l'énergie consommée dans la résistance de réglage de chaque série de deux lampes serait de $(110 - 45 \times 2)10 = 200$ watts, soit 100 watts par lampe ; l'emploi de lampes à arc enfermé sur un tel réseau serait encore plus onéreux car chaque lampe devrait être disposée en dérivation sur le réseau et, comme une lampe de ce genre exige une différence de potentiel de 70 volts entre ses bornes, la consommation d'énergie dans la résistance de réglage d'une lampe de 5 ampères serait $(110 - 70)5 = 200$ watts. Sur des réseaux à tension plus élevée (220, 400, 450 volts) la consommation pourrait être dans certains cas rendue plus faible par un choix convenable du type de lampes, mais elle resterait encore importante en général.

L'emploi de lampes disposées en série par groupes de 40 à 50 sur des conducteurs présentant une différence de potentiel suffisamment élevée serait de beaucoup plus économique. Mais cette solution que l'auteur, à juste raison, considère comme celle qui devrait toujours être adoptée, exige l'emploi de génératrices et de canalisations spéciales. Or, les génératrices à courant continu à haut voltage pour éclairage ont, du moins c'est l'opinion de M. Minshall, un très mauvais rendement. D'autre part, les canalisations à haut voltage, qui en raison des dangers qu'elles créent ne peuvent être aériennes, sont dispendieuses. Ce ne sont là évidemment que des inconvénients de peu d'importance par rapport aux avantages que présente le système lorsque le nombre de lampes à alimenter est suffisamment grand. Malheureusement, l'éclairage public par lampes à arc ne se développe généralement que peu à peu ; au début, il n'est jamais suffisamment important pour justifier l'emploi de génératrices spéciales et lorsque son extension commence à justifier cet emploi, les dépenses faites antérieurement font que souvent la transformation du système d'alimentation n'est plus une solution économique.



Courants altennatifs ou redressés. — Dans l'hypothèse où la ville possède un réseau de distribution à courants alternatifs à haute tension, plusieurs procédés sont susceptibles d'être appliqués :

a) Emploi de moteurs générateurs transformant les courants alternatifs de haute tension en courant continu à haute tension pour l'alimentation en série, les commutatrices étant placées soit à la station centrale, soit dans des sous-stations.

b) Emploi de redresseurs transformant les courants alternatifs de haute tension en courants redressés à haute tension alimentant les arcs en série.

c) Alimentation de lampes à arc alternatif, enfermé ou libre, disposées *isolément en parallèles* sur les conducteurs de distribution à basse tension partant soit de la station centrale, soit des sous-stations.

d) Alimentation de lampes à arc alternatif disposées *en série* sur les conducteurs du réseau à basse tension.

e) Emploi de transformateurs spéciaux disposés dans des sous-stations et alimentant un certain nombre de lampes en série.

Suivant M. Minshall, le premier procédé est le moins économique par suite de la double perte due à l'emploi d'un moteur générateur. En outre, si les moteurs générateurs doivent être placés dans une sous-station, leur surveillance augmente encore considérablement les dépenses d'exploitation.

Le second procédé est celui que l'on emploie le plus couramment en Angleterre. Les redresseurs de courants ont cependant mauvaise réputation, mais l'auteur estime que cette réputation est imméritée et que la conduite de ces appareils ne présente pas, pour un ingénieur habile, plus de difficultés que celle d'une dynamo génératrice. Quant aux lampes, elles fonctionnent fort bien avec ce système : leur rendement lumineux est très bon, la distribution de la lumière est pratiquement aussi avantageuse qu'avec un courant continu, leur réglage se fait avec facilité.

Le troisième procédé est aussi très employé, les lampes adoptées étant le plus souvent du type à arc enfermé. La réduction de la tension du réseau à la valeur qui convient pour l'alimentation d'une lampe s'effectue soit au moyen d'un transformateur réducteur, soit au moyen d'une bobine de self-induction, soit enfin par la combinaison de ces deux appareils. Un petit inconvénient du procédé est d'exiger, pour ces appareils ainsi que pour l'interrupteur, un emplacement qu'on ne peut toujours facilement trouver dans le support de la lampe elle-même. A ce propos, l'auteur signale une nouvelle lampe qui commence à se répandre en Angleterre, la lampe Lewis ; la bobine de réaction et le transformateur sont logés dans la lampe elle-même, sans que le poids et les dimensions de celle-ci soient exagérées, et dans les derniers modèles on a pu supprimer sans inconvénient la bobine de self-induction.

On objecte à ce procédé qu'il exige une dépense en cuivre beaucoup plus grande que les procédés dans lesquels on dispose en série un nombre de lampes plus ou moins grand. M. Minshall reconnaît que dans les villes où il n'existe pas de réseau de distribution à basse tension le système en série est certainement le plus économique, mais il est d'avis que, s'il existe un réseau de distribution, le procédé consistant à mettre chaque lampe isolée en dérivation sur ce réseau est aussi économique, même s'il est nécessaire d'établir des canalisations spéciales pour l'alimentation des arcs ; il suffit pour cela que les points d'alimentation ne soient pas trop éloignés, ne soient pas distants de plus de 1 200 à 1 300 m par exemple, et surtout de ne pas prendre, sous prétexte de réduire les pertes en ligne par effet Joule, des conducteurs de dérivation de trop grande section [1].

---

[1] A l'appui de cette opinion, M. Minshall donne les renseignements suivants sur le réseau d'éclairage public de Croydon.

Dans cette ville les arcs sont espacés d'environ 54 m (60 yards) ; ils consomment 550 watts s'ils sont alimentés par des courants redressés, 650 s'ils reçoivent des courants alternatifs ; le réseau de distribution est à 208 volts. Les lampes d'une même rue, étant disposées sur deux circuits indépendants, de manière à pouvoir éteindre les unes à minuit tandis que les autres restent en fonction toute la nuit, deux lampes consécutives alimentées par un même circuit sont distantes de $54 \times 2 = 108$ m (120 yards). Les câbles qui amènent le courant aux lampes sont du type 7-16 c'est-à-dire formés de 7 fils du n° 16 de la Legal Standard Gauge, numéro auquel correspond un diamètre de 1,63 mm : ces câbles ont une section de 14,73 mm². La différence de potentiel entre l'origine des câbles et la lampe la plus éloignée ne dépasse pas 16 volts, bien que les lampes

Quelques-unes des considérations précédentes s'appliquent au quatrième procédé : mise en série entre deux points du réseau de basse tension d'un certain nombre de lampes.

A propos de l'un et l'autre procédé, on peut se poser cette question : convient-il d'installer des câbles spéciaux pour l'alimentation des lampes de l'éclairage public ou vaut-il mieux profiter de l'existence du réseau d'éclairage privé pour brancher les lampes sur ce réseau. M. Minshall est d'avis d'adopter la première solution et même d'établir deux canalisations spéciales pour l'éclairage public, les lampes étant réparties par moitié sur l'une et l'autre de ces canalisations. Le branchement direct des lampes de l'éclairage public sur le réseau d'éclairage privé offre, en effet, l'inconvénient d'exiger un employé pour l'allumage et l'extinction et en outre l'obligation d'allumer les premières lampes avant l'heure et d'éteindre les dernières après l'heure fixée par la municipalité ; ces deux causes occasionnent des dépenses plus élevées que l'intérêt et l'amortissement du capital engagé dans la pose d'un câble spécial et des fils pilotes permettant de commander de l'usine centrale les interrupteurs de ces câbles. Quant à l'emploi de deux canalisations séparées, il est avantageux lorsque, comme à Croydon, une lampe sur deux doit être éteinte à minuit, et dans tous les cas il donne une plus grande sécurité d'exploitation, un accident sur un câble n'entraînant pas l'extinction de toutes les lampes d'une rue [1].

Le dernier procédé, consistant à alimenter des lampes à arc alternatif disposées en série sur le circuit d'un transformateur spécial, situé dans une sous-station, a les inconvénients inhérents à la nécessité d'une sous-station, mais ceux-ci peuvent être largement compensés par l'avantage de diminuer l'importance de la canalisation. Il est quelquefois employé en Angleterre, en particulier à Hammersmith. Dans cette dernière ville, les lampes sont à arc libre; elles fonctionnent avec un courant de 8 ampères et consomment 400 watts ; chacune d'elles est munie d'une résistance de compensation qui est automatiquement mise en circuit à la place de la lampe quand celle-ci cesse de fonctionner. Les lampes à arc enfermé, si répandues en Amérique, ne sont guère employées en Angleterre avec ce procédé d'alimentation.

5. Conclusions. — Après quelques mots sur l'éclairage par lampes électriques à incandescence, qu'il reconnaît incapable de lutter économiquement avec l'éclairage par incandescence au gaz, M. Minshall termine par deux vœux :

1° Au point de vue économique, il serait dési-

---

puissent encore très bien fonctionner avec une différence de potentiel plus faible entre les bornes de leurs transformateurs. Pour ne pas dépasser cette chute de voltage en ligne, on n'alimente que 5 lampes de 4,5 ampères ou 6 lampes de 3 ampères ; dans le premier cas la longueur des câbles alimentant un même groupe de lampes est de $5 \times 108 \times 2 = 1\,080$ m et la chute de voltage est de 16 volts; dans le second la longueur des câbles correspondant à un même groupe est de $6 \times 108 \times 2 = 1\,296$ m et la chute de voltage est de 14,5 volts.

A cause du faible diamètre des câbles employés la perte en ligne est assez considérable; elle atteint 185 watts pour un groupe de 6 lampes de 3 ampères. En employant des câbles 19-16 ayant une section de 40,25 mm², on réduirait cette perte à 77 watts. Cette réduction amènerait une économie d'énergie annuelle d'environ 600 kilowatts-heure en supposant un groupe de lampes sur deux groupes éteint à minuit. Le prix de revient de cette énergie supplémentaire pouvant être considéré comme un peu moindre que le prix de revient moyen, l'auteur prend 0,10 fr pour le coût du kilowatt-heure. Par conséquent l'emploi de gros câbles donnerait lieu à une économie de 60 fr par an.

Mais si l'on tient compte de la différence des prix de revient des deux espèces de câbles, le résultat se trouve renversé. Pour une longueur de 1 260 m, le câble 19-16 coûte 2 940 fr de plus que le câble 7-16 ; l'intérêt et l'amortissement de cette somme grèvent donc les frais annuels de 294 fr, c'est-à-dire d'une somme près de 5 fois supérieure à l'économie réalisée.

[1] Un homme peut éteindre ou allumer 40 lampes réparties sur un parcours de 4 320 m (4 800 yards) en une heure et quart, en comprenant le temps nécessaire pour aller de l'usine au circuit et revenir à l'usine ; à 1 fr l'heure il en résulte une dépense annuelle de 390 fr. Les conducteurs dérivés amenant le courant aux lampes revenant à 1,33 fr par mètre les frais d'établissement correspondants sont de 5 760 fr, et l'intérêt et l'amortissement annuels s'élèvent à 576 fr. L'énergie dépensée annuellement par l'allumage prématuré à l'extinction tardive de certaines lampes étant d'environ 3 285 kilowatts, la dépense correspondante est de 328,5 fr pour 40 lampes. On arrive ainsi à un total de 1 294,5 fr.

L'intérêt et l'amortissement annuels du capital engagé par la pose d'un câble spécial 7-16 de 4 320 m de longueur étant de 1 007,5 fr et ceux du capital engagé pour la pose d'un fil pilote et d'un interrupteur étant en moyenne de 30 fr, la dépense annuelle totale est alors de 1 037,50 fr.

Cette dernière solution donne donc lieu à une économie annuelle de 256,50 fr par groupes de 40 lampes séparément distantes de 108 m.

rable que l'importance qu'est appelé à prendre dans une ville l'éclairage public par arc puisse être prévue au moment de l'établissement du réseau d'éclairage privé. Il serait alors possible de placer simultanément dans une même tranchée les canalisations séparées pour l'un et l'autre éclairage ce qui diminuerait le capital de premier établissement, les frais de tranchée et de pose étant plusieurs fois plus grands que le prix d'achat d'un câble de même longueur; le public y trouverait aussi satisfaction, la gène apportée à la circulation par la pose des canalisations, ne se renouvelant pas;

2° Au point de vue de l'uniformité de l'éclairement, il conviendrait de rechercher une lampe de faible intensité lumineuse, ayant néanmoins un bon rendement et dont le prix serait assez bas pour qu'il soit possible de multiplier le nombre de ces lampes.

DIVERS

Sur le frottement interne des liquides isolants dans un champ électrique constant, par **G. Pacher** et **L. Finazzi**. *Il Nuovo Cimento*, t. XI, p. 290, avril 1900.

Les résultats relatifs à l'influence d'un champ électrique constant sur le frottement interne d'un diélectrique sont contradictoires. Kœnig [1] dit qu'il n'y a pas d'action, tandis que Duff [2] trouve pour l'huile de ricin et la glycérine une augmentation et pour l'huile de vaseline une diminution. Quincke [3] conclut à une augmentation de viscosité proportionnelle à l'intensité du champ et à la constante diélectrique du liquide.

L'auteur emploie comme Kœnig la méthode de passage à travers des tubes capillaires. Le liquide traverse l'intervalle annulaire très étroit de deux tubes concentriques formant les armatures d'un condensateur. Les expériences ont porté sur l'eau distillée, l'alcool, l'éther, le benzol, l'essence de térébenthine et le sulfure de carbone.

Pacher et Finazzi concluent delà que les liquides diélectriques soumis à l'action d'un champ électrique n'éprouvent aucune variation sensible de leur viscosité. G. G.

(1) Kœnig. *Wied. Ann.*, t. XXV, p. 618, 1885.

(2) Duff. *The Physical Review*, p. 23, 38, 1896.

(3) Quincke. *Wied. Ann.*, t. LXII, p. 1, 1897. Voir aussi les objections formulées dans *Wied. Ann.*, t. LXV, p. 635, 1898.

Détermination du point neutre d'un élément thermoélectrique, par M. **A. Abt.** *Drude's Ann*, t. III, p. 320-328, octobre 1900.

L'une des soudures de l'élément est enfoncée dans une barre d'acier rectangulaire : sur la face perpendiculaire se trouve le thermomètre plongé dans un trou rempli de limaille. On chauffe l'extrémité de la barre et on mesure l'intensité du courant obtenu. On note les températures des deux soudures t_1 et t_2 au moment où le courant est nul. Le point neutre T est donné par

$$T = \frac{1}{2}(t_1 + t_2).$$

L'expérience est facile à réaliser même dans un cours. M. L.

Extinction de l'électroluminescence d'un gaz par une élévation de température par **J. Stark**, *Drude's Ann.*, t. III, p. 243-247, octobre 1900.

Dans des expériences où toutes les précautions étaient prises pour éliminer les décharges accessoires, M. Stark a constaté encore que l'élévation de température d'une région de la décharge, faisait disparaître l'électroluminescence du gaz. Il faut donc attribuer cette extinction à l'action de la température ou à une propriété de la décharge elle-même.

Dans une décharge ordinaire, une région lumineuse correspond à un maximum relatif, une région obscure à un minimum relatif de la chute de potentiel. Or l'élévation d'une température dans une région lumineuse abaisse la chute de potentiel. Si on admet que le gaz a un minimum relatif de luminescence là où la chute de potentiel a un minimum relatif, on s'explique ainsi aisément le phénomène signalé. M. L.

Sur la dilatation d'un diélectrique dans un champ électrique, par **Louis T. More**, *Philosophical Magazine*, t. L, p. 198, août 1900.

La dilatation d'un diélectrique dans un champ électrostatique a fait l'objet de nombreuses études car elle a été regardée comme une preuve expérimentale de la théorie de Faraday et Maxwell. Parmi ces recherches on peut citer notamment celles de Fontana (Volta, Lettere inedite di Volta, Pesaro, p. 15; 1834), Govi (*Nuovo Cimento* XXI, XXII, p. 18-26; C. R.,

LXXXVII, p. 857), Duter (C. R. LXXXVII, pp. 828, 1036; LXXXVII, p. 1260), Righi (C. R. LXXXVIII, p. 1262), Quincke (*Wied. Ann.*, X, p. 161, 374, 513; XIX, p. 545, 705; XXVIII, p. 529, 705; XXXII, p. 530) et W. C. Rœntgen, (*Wied. Ann.*, XI, p. 786). Leur conclusion, à part quelques contradictions, est que la plupart des liquides et le verre se dilatent quand ils sont soumis à une pression électrostatique et que le verre se dilate dans une direction normale aux lignes d'induction (lignes de flux d'induction). Ces variations de volume sont trop considérables pour pouvoir être expliquées autrement que par une nouvelle et particulière propriété de l'électricité. La plupart des auteurs ont adopté ces résultats; par exemple J. J. Thomson (*Applications of Dynamics to Physics and Chemistry*, p. 52 et *passim*) et H. Poincaré (*Electricité et Optique*, chapitre XIII), et ils ont été considérés comme une confirmation expérimentale de la théorie de Faraday. Rœntgen en discutant les résultats obtenus par des recherches antérieures aux siennes, et en se basant sur ses propres recherches expérimentales, croit au contraire que ces changements de volume sont dus à la compression électrique des électrodes et à l'effet calorifique qui accompagne la charge électrique. Ceci est confirmé, du moins partiellement, par le fait que presque dans tous les cas étudiés il y a un changement subit de potentiel à la surface du diélectrique; ce qui nécessiterait l'action de charges libres sur la surface du verre ou du liquide et l'attraction de ces charges produirait un changement de volume.

L'auteur, M. More, se propose dans ce mémoire d'élucider la question, en se mettant à l'abri de toute critique. Et d'abord, en ce qui concerne le changement de température, son action sur le diélectrique est plus lente que les déformations électriques; ces actions peuvent donc être séparées. — En ce qui concerne les charges libres ou apparentes à la surface du diélectrique, l'auteur les élimine en interposant entre le diélectrique solide et les électrodes un isolant liquide de même capacité inductive spécifique que le diélectrique solide. Son appareil est constitué de deux tubes en laiton, concentriques, entre lesquels on peut interposer un troisième tube en verre; l'espace annulaire de part et d'autre du tube en verre était rempli avec un isolant liquide approprié. La variation de longueur du tube de verre est accusée par le déplacement d'une image lumineuse réfléchie sur un petit miroir de laiton solidaire avec le tube de verre et amplifié par un système de *leviers optiques*. Le tube intérieur (en laiton) est relié au sol ainsi que le miroir; le tube extérieur (en laiton) est en communication avec une machine électrostatique qui peut donner plus de 20 cm d'étincelle; pour éviter toute attraction qui pourrait s'exercer entre le tube extérieur chargé et le miroir, on dispose au-dessus du miroir un écran de carton couvert de papier d'étain et relié au sol.

Une échelle verticale donne, au moyen de leviers optiques, les déplacements du miroir; chaque division de cette échelle correspond à un allongement du tube de $\frac{1}{200}$ de millimètre, et comme ces divisions sont observées dans la lunette à micromètre d'un cathétomètre, chaque division du micromètre correspond à un changement de longueur du tube égal à $1,5 \times 10^{-5}$ mm; on peut en outre avoir facilement le quart d'une division du micromètre.

Après une détermination de l'élasticité du tube de verre qui renseignait l'auteur sur la sensibilité de son appreil, on remplissait les espaces annulaires de part et d'autre du tube en verre avec un isolant liquide et on mettait ensuite le tube de laiton extérieur en communication avec la machine électrostatique.

Dans aucun cas on n'a pu observer le moindre déplacement du miroir, interprète de l'allongement du tube.

Les recherches de Righi et de Quincke exigent au contraire un allongement correspondant au moins à 10 divisions. — Righi, avec ses tubes de verre obtenait un allongement de $\frac{1}{500}$ de millimètre.

D'après lui, l'allongement δl serait proportionnel à

$$\frac{l\,(v_1 - v_0)^2}{d}$$

d'après Quincke il serait proportionnel à

$$\frac{l\,(v_1 - v_0)^2}{d^2}.$$

Donc d'après Righi on s'attendrait à avoir un allongement de

$$0,002 \times 0,45 \times \frac{1}{2,5} = 3,6 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

pour une différence de potentiel correspondant à 1 cm d'étincelle, et d'après Quincke on devrait trouver un allongement de

$$0{,}002 \times 0{,}45 \times \frac{1}{(2{,}5)^2} = 1{,}4 \times 10^{-4} \text{ mm}.$$

Or, comme une division du micromètre employé par l'auteur correspond à $1{,}5 \times 10^{-5}$ mm, on voit que, d'après Righi, l'allongement qu'on devrait observer correspondrait à un déplacement vertical de 24 divisions ; et d'après Quincke à un déplacement vertical de 9,6 divisions.

En augmentant le potentiel (2 cm d'étincelle) l'auteur n'obtint pas non plus d'allongement, alors que d'après Righi, il devrait atteindre 38 divisions et d'après Quincke 20.

L'auteur a ensuite remplacé le tube de verre par un tube de caoutchouc ; l'isolant liquide employé étant le pétrole ; une différence de potentiel correspondant 7 mm d'étincelle ne provoquait aucun allongement du tube en caoutchouc. Quincke (*Wied. Ann.* X, p. 200) trouve au contraire un allongement dix fois plus fort que pour le cas du verre.

On voit donc que ces résultats obtenus par M. More sont entièrement en désaccord avec ceux obtenus par différents auteurs. Cela a amené M. More à étudier avec beaucoup de soin les méthodes employées par les auteurs qui ont étudié la question avant lui et à en discuter minutieusement leurs résultats.

Il a commencé par passer en revue et répéter les expériences sur le changement de volume du diélectrique. La méthode expérimentale consiste à employer un réservoir thermométrique en verre dans lequel on verse un liquide conducteur ; on électrise ce liquide et on observe les variations de capacité du réservoir thermométrique au moyen de la dénivellation dans un tube capillaire.

Govi a trouvé qu'en employant l'eau comme liquide conducteur l'enveloppe de verre se dilatait ; cette augmentation de volume était plus accentuée avec l'acide azotique comme liquide conducteur et elle atteignait une valeur très grande en employant l'alcool ; l'éther produisait le même effet que l'alcool ; l'huile d'olives et le mercure ne donnaient, au contraire, rien. — Duter précise un peu, en concluant qu'on observe toujours une augmentation du volume du diélectrique et que cette augmentation est entièrement indépendante du liquide qui remplit le réservoir de verre.

Quincke, arrive au contraire à la conclusion que les variations de volume observées par Govi sont dues aux différences des tensions capillaires, de viscosité, de conductibilité électrique etc., caracétrisant chaque liquide employé. Il trouve de plus que le changement de volume, en employant l'eau comme liquide remplissant le réservoir thermométrique, est plus grand qu'en employant l'alcool : résultat contraire à celui obtenu par Govi. L'essence de térébenthine ne donne rien (Quincke, *Wied. Ann.*, X, p. 177). En ce qui concerne les corps gras (les huiles grasses), ils se contractent étant chargés. Rœntgen répéta ces expériences en employant deux procédés différents ; il arrive à la conclusion *qu'il n'y a pas de diélectriques qui subissent une contraction par suite de l'action de la charge*, et il considère la dilatation qu'on observe presque avec tous les diélectriques, comme étant due à un accroissement de température et à l'attraction des électrodes chargées.

Nous avons vu plus haut que Duter trouve comme résultat de ses expériences que l'accroissement du volume d'un diélectrique par suite de l'électrisation, pour une même différence de potentiel, est en raison inverse de l'épaisseur avec une erreur probable de 5 p. 100. Quincke trouve, au contraire, que cet accroissement est inversement proportionnel au carré de l'épaisseur du diélectrique, ce qui concorde avec la loi de la déformation dans un milieu de Maxwell ; et il donne des séries de tableaux qui vérifient cette loi. D'où vient-elle donc cette discordance entre les résultats obtenus par Righi, Govi, Duter, et Quincke ? — C'est que leurs appareils étaient défectueux et que les erreurs expérimentales étaient supérieures aux changements de volume qu'on devrait trouver ; on avait en outre des élévations de température qui agissaient d'une manière sensible sur le volume du diélectrique employé. L'auteur conclut qu'il n'est pas probable que par suite de la tension de l'éther, au moment de la charge électrostatique d'un diélectrique, le diélectrique subisse une déformation mécanique ; du moins, si pareille action existe, elle est extrêmement petite, comparable à un léger changement de la structure moléculaire. On ne peut pas admettre qu'elle soit de l'ordre de

$$\frac{KH^2}{8\pi}$$



formule de Maxwell, car la grande sensibilité de l'appareil dont s'est servi l'auteur aurait pu la mettre en évidence d'une manière excessivement nette.

La tension dans l'éther exprimée par la formule de Maxwell est-elle donc effectivement accompagnée d'une déformation mécanique du diélectrique chargé ? — Les expériences de l'auteur ne semblent pas le vérifier. D'autre part, le phénomène de Kerr (double réfraction d'un diélectrique fortement électrisé) ne permet pas non plus d'affirmer l'existence de cette action mutuelle. Le phénomène de Kerr peut, en effet, être positif ou négatif; quelques diélectriques, parmi lesquels le verre, produisent un effet équivalant à une *compression mécanique*; d'autres, comme la résine par exemple, produisent un effet équivalent à une *dilatation* (*ou traction*) *mécanique*. Or, *la formule de Maxwell exige dans tous les cas une tension.*

Mais admettons même qu'on puisse expliquer le phénomène de Kerr par une compression mécanique produite par les électrodes chargées. Le calcul suivant démontre que cette déformation n'est pas suffisante pour produire les changements de longueur observés (normaux aux électrodes).

Soient

$$V = 2 \text{ cm d'étincelle} = 130 \text{ C. G. S.}$$
$$d = 0{,}25 \text{ cm}$$
$$K = 5$$
$$E = 3 \times 10^{11}$$

alors

$$\frac{F}{S} = \frac{K (V_1 - V_0)^2}{8\pi d^2} = 54\,000 \text{ dynes}$$

et le changement de longueur *le long des lignes de force* est égal à

$$\frac{F}{S} \times \frac{d}{E} = 54\,000 \times \frac{0{,}25}{3} \times 10^{11} = 4{,}5 \times 10^{-8} \text{ cm}$$

le changement de longueur *normal* aux lignes de force est égal à

$$1{,}1 \times 10^{-8} \text{ cm.}$$

Les tubes employés par l'auteur ayant 57 cm de longueur, subiraient donc dans ces conditions un allongement de 6.3×10^{6} mm; ce qui correspondrait à moins d'une demi-division du micromètre et l'évaluation d'un pareil déplacement est illusoire.

Eugène Néculcéa.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du lundi 10 décembre.

M. **Armagnat** indique la disposition de quelques ***phasemètres*** présentés à l'Exposition. Il rappelle que les instruments rangés sous ce nom mesurent en réalité des grandeurs très différentes.

Dans l'hypothèse du courant alternatif sinusoïdal, la différence de phase entre deux courants de même période, ou entre la force électromotrice et l'intensité du même courant, est susceptible d'une définition mathématique claire et simple; sa connaissance est importante, particulièrement dans l'expression de la puissance

$$P = E_{eff} I_{eff} \cos \varphi.$$

Dans ce cas, on conçoit facilement le rôle et l'utilité d'un phasemètre donnant directement φ.

En pratique, le courant sinusoïdal est assez rare et on trouve souvent des formes de courant très complexes; mieux encore, on sait que le courant et la force électromotrice qui l'a engendré n'ont pas toujours la même forme, il en résulte que la différence de phase n'a plus un sens mathématique clair.

Cependant, en pratique, la puissance développée n'est pas toujours égale au produit des volts efficaces par les ampères efficaces, il faut multiplier ce produit par un facteur, toujours plus petit que l'unité, pour obtenir la valeur vraie de la puissance :

$$P = E_{eff} I_{eff} K ;$$

ce coefficient K, variable selon les circonstances, s'appelle le *facteur de puissance*; c'est l'équivalent de cos φ, avec plus de généralité, et abstraction faite de toute hypothèse sur la forme du courant.

Enfin une troisième solution peut être envisagée : elle consiste à remplacer l'intensité



réelle par deux composantes : l'une en phase avec la force électromotrice, a pour valeur I cos φ, l'autre, en quadrature avec la première, a pour valeur I sin φ ; cette dernière est ce que l'on appelle souvent le courant *déwatté*, pour exprimer qu'il ne produit pas d'énergie, la valeur moyenne de EI sin φ étant toujours nulle.

Il n'existe pas actuellement d'appareils donnant le *facteur de puissance*, par une simple lecture, mais cette détermination peut se faire assez exactement en comparant le produit des indications d'un voltmètre et d'un ampèremètre alternatifs avec la mesure de P donnée par un bon wattmètre.

Tous les appareils proposés, exacts pour le courant sinusoïdal, sont sujets à caution pour les courants industriels ; ils peuvent, pour un même courant, donner des indications exactes pour une certaine valeur de K, fausses pour d'autres.

Les phasemètres proprement dits étaient, à l'Exposition, ceux de Siemens et Halske, de Ricardo Arno (1) et de Hartmann et Braun (2). L'appareil de l'Allgemeine était un ampèremètre donnant I sin φ (3).

Le phasemètre de Siemens est composé de deux bobines enchevêtrées l'une dans l'autre et reliées à 90° ; elles sont parcourues par un des courants à étudier. Un équipage mobile, sorte de réduction de la cage d'écureuil des moteurs d'induction, mais sans fer, est suspendu par un fil métallique au centre des bobines. Sous l'action du champ tournant créé par les deux bobines, l'équipage est soumis à un couple, proportionnel à II' sin φ, dont la grandeur est indiquée par la déviation observée au miroir. Cet appareil est destiné aux recherches de laboratoire, il permet de mesurer des valeurs de φ très petites : de quelques secondes d'arc à 10° environ.

M. Mascart insiste sur l'intérêt que présentent les phasemètres ; il regrette que les appareils exposés n'aient pas été plus nombreux, et demande que M. Armagnat décrive, dans son mémoire, les différents types d'appareils inventés, ce qui rendra de réels services aux chercheurs.

(1) *Écl. Élect.*, t. XII, p. 520, t. XXI, p. 226 ; phasemètre des tangentes ; *Écl. Élect.*, t. XXII, p. 379 ; phasemètre pour courants triphasés.

(2) *Écl. Élect.*, t. XXV, p. 339, 1er décembre 1900.

(3) *Écl. Élect.*, t. XXV, p. 340, 1er décembre 1900.

M. **Guénée** expose ***les applications industrielles de l'électro-aimant*** et décrit les différents types d'électro-aimants qu'il a construits, en collaboration avec M. Bouchet, en vue de ces applications industrielles.

On a, jusqu'à présent, construit fort peu d'électro-aimants puissants. On se heurtait à la difficulté d'obtenir de grandes courses et, d'un autre côté, l'effort, au début de l'attraction, était minimum, tandis qu'on exige, en général, un effort maximum au démarrage.

Les électro-aimants que décrit M. Guénée permettent d'obtenir des efforts de traction considérables, constants sur toute la longueur de la course qui peut atteindre 30 à 40 cent., ou bien, au contraire, présentant un maximum bien caractérisé au début ou à la fin de la course. Ces résultats ont été obtenus au moyen d'électro-aimants cuirassés dans lesquels l'épanouissement polaire et l'armature ont reçu des formes particulières, déduites d'une théorie mathématique que l'auteur développe longuement au tableau. Cette théorie, dans son ensemble, ne paraît pas différer sensiblement de la théorie connue de l'électro-aimant ; elle considère principalement l'effort statique.

Les différents modèles d'électro-aimants présentés seront décrits prochainement dans *L'Éclairage Électrique* avec figures à l'appui.

M. Arnoux fait observer qu'il serait intéressant de savoir quelle est la variation de l'effort d'attraction exercé sur l'armature lorsque celle-ci est libre de se mouvoir. On pourrait, dans ce but, adopter une méthode analogue à celle que M. le général Sebert a employée dans ses études de balistique ; il suffirait de monter l'armature de telle façon qu'elle soit libre de se mouvoir sans aucune autre résistance que l'inertie de sa masse ; un diapason, monté sur cette armature, tracerait sur un papier enfumé une série de sinusoïdes. On connaîtrait ainsi la vitesse en chaque point de la course et, de l'accélération observée, on pourrait déduire l'effort. G. P.

Le Gérant : C. NAUD.



7e ANNÉE. — TOME XXV SAMEDI 29 DÉCEMBRE 1900 N° 52

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

GEORGES CARRÉ ET C. NAUD, ÉDITEURS, PARIS, 3, RUE RACINE

Abonnements : FRANCE et ALGÉRIE : **50** francs. — UNION POSTALE : **60** francs

Les abonnements partent du commencement de chaque trimestre.

Tome XXV Samedi 29 Décembre 1900. 7e Année. — N° 52.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SOMMAIRE

Adresser tout ce qui concerne la Rédaction à M. J. BLONDIN, 171, Faubourg-Poissonnière (9e arrondissement).
M. BLONDIN reçoit, 3, rue Racine, le jeudi de 2 à 4 heures.

AVIS A NOS LECTEURS

Il nous reste un TRÈS PETIT NOMBRE de collections complètes et un certain nombre de volumes séparés des Revues suivantes :

L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE.
LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE.
L'ÉLECTRICIEN.
REVUE INTERNATIONALE DE L'ÉLECTRICITÉ.

Nous fournirons à ceux de nos lecteurs qui nous en feront la demande *par lettre affranchie* le tableau de ces collections et volumes.

Pour les *numéros séparés* dont la liste est trop longue nous prions nos lecteurs de nous indiquer ceux qu'ils désirent.

BREVETS D'INVENTION

BF : Brevet français. — BP : Patente anglaise — DRP : Patente allemande — USAP : Patente américaine.

La liste des brevets français est communiquée par l'Office E. Barrault, 17, Boulevard de la Madeleine, Paris.

Dynamos et Moteurs.

Machines dynamos. — Spence. 656 127, USAP, 12 mai 1899. Machines dynamos.

Hurrell. 658 012, USAP, 29 septembre 1900. Machine dynamo.

Lamme. 14 909, BP, 14 avril 1899. Machines dynamos.

Throop (F.-W.). 662 042, USAP, 29 janvier 1900. Machine dynamo à disque de Faraday.

Guenée, 300 447, BF, 19 mai 1900. Machine dynamo électrique à électro-aimants.

Dalen et Hultqviss, 114 238, DRP, 13 juillet 1899. Machine unipolaire à courant continu.

Société Siemens et Halske (A.-G.). 302 226, BF, 16 juillet 1900. Machine à courant continu avec des aimants renverseurs.

Simms (F.-R.). 662 316, USAP, 5 juin 1900. Machine magnéto-électrique.

Bickford (J.-H.). 656 165, USAP, 1er septembre 1900. Dynamo génératrice.

Dentel et Janka. 302 617, BF, 31 juillet 1900. Dynamo à double effet.

Cotton. 303 036, BF, 14 août 1900. Dynamo et mode de réglage.

Garcia-Prieto. 303 279, 25 août 1900. BF. Générateur dynamo-statique d'électricité.

Lamme et Mallet. 15 138, BP, 6 février 1899. Générateur et moteur.

Neveux. 300 411, BF, 17 mai 1900. Perfectionnements aux machines dynamo-électriques.

Société Schneider et Cie. 302 365, BF, 20 juillet 1900. Perfectionnements dans la construction des machines dynamo-électriques à courant électrique continu.

Bryan et Bayley. 301 720, BF, 29 juin 1900. Perfectionnements aux génératrices magnéto et dynamo-électriques.

Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. 302 112, BF, 12 juillet 1900. Perfectionnements aux machines dynamo-électriques.

Van der Plocq, 301 316, BF, 16 juin 1900. Procédé pour la production de l'énergie électro-magnétique par la suppression de la rémanence.

Bradley, 656 806, USAP, 8 septembre 1900. Alternateur.

Bees. 301 087, BF, 8 juin 1900. Dispositif permettant le réglage automatique de la tension des alternateurs à courants alternatifs simples ou polyphasés.

Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. 302 974, BF, 13 août 1900. Perfectionnements au couplage des machines dynamo-électriques.

Appleton. 657 722, USAP, 21 septembre 1900. Dispositif de contrôle des survolteurs,

Kummer and Co (Actien Gesellschaft Elektricitatswerke worm.). 8 152, BP, 1900. Transformateur.

Rochefort. 303 081, BF, 17 août 1900. Transformateur à solénoïde secondaire en dérivation du solénoïde primaire reversible et variable.

Société Ame pour la transmission de la force par l'électricité. 303 028, BF, 9 juillet 1900. Nouveau transformateur-redresseur (sytème Hutin et Leblanc).

Berry et société the British Electric transforming manufacturing Cy Ltd. 302 491, BF, 25 juillet 1900. Perfectionnements aux transformateurs électriques.

Deri. 656 522, USAP, 1er septembre 1900. Convertisseur de courants alternatifs en courants continus.

Jonas. 113 988, DRP, 17 septembre 1899. Procédé pour l'alimentation simultanée d'un même enroulement de machine électrique pour produire deux courants complètement indépendants.

Puhrtner, 114 068. DRP, 18 juin 1899. Dispositif pour la transformation de courant alternatif en courant continu au moyen de bobine de self-induction avec noyau polarisé.

Kingsdorf. 301 593, BF, 25 juin 1900. Balais pour dynamos fabriqués au moyen de fils métalliques aplatis au laminoir.

Auer (A.). 113 984, DRP, 1er mars 1900. Balais en charbon pour dynamo.

Elektricitats (A.-G.), anciennement Schuckers et Cie. 114 235, DRP, 23 juillet 1899. Porte-balais.

Reist. 656 421. USAP, 1er septembre 1900. Support de balais.

Erven et Potter. 655 824, USAP, 29 août 1898. Support de balais.

Société Riker, Motor, Vehièle et Co. 303 097, BF, 18 août 1900. Garde pour balais de contact mobile.

Wood. 658 100, USAP, 29 septembre 1900. Armature pour dynamo multipolaire.

Compagnie de Fives-Lille. 300 800, BF, 30 mai 1900. Nouveau système d'enroulements pour induits de machines dynamos à courant continu.

Lamme et Mallett. 114 239, DRP, 15 août 1899. Enroulement en barrettes pour parties induites de machine polyphasée.

Maix (E.-W.) et Faure (F.-G.-H.). 662 010, USAP, 11 octobre 1899. Bloc d'espacement pour l'enroulement des noyaux d'armature.

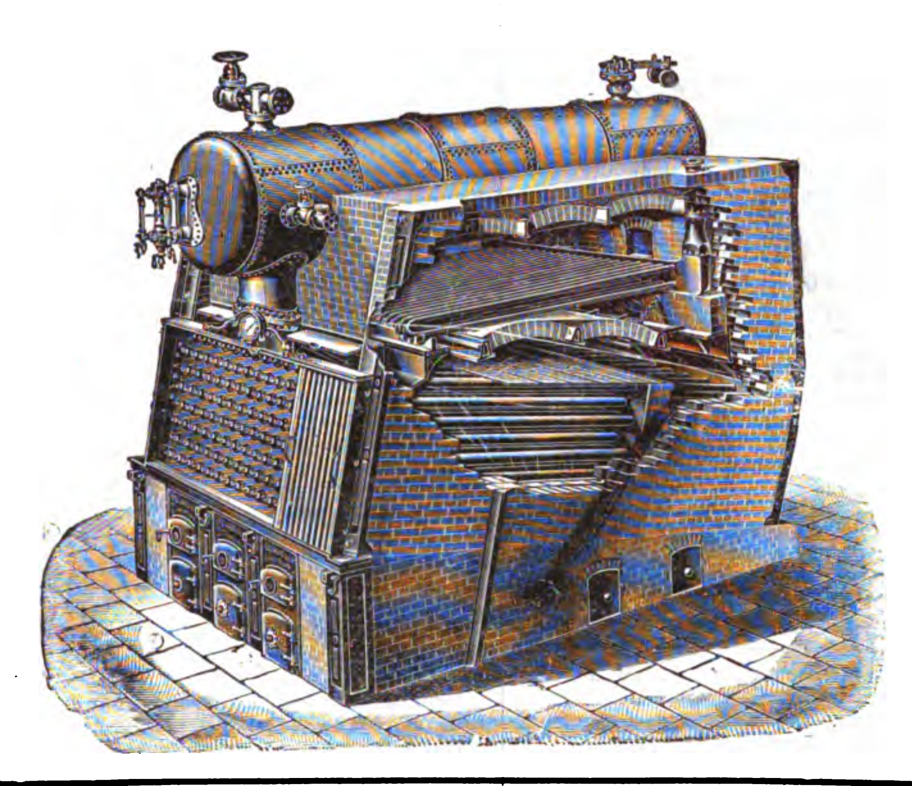
Foshag. 300 345, BF, 15 mai 1900. Bloc d'espacement pour noyaux d'armatures électriques.

Mallett. 300 387, BF, 16 mai 1900. Perfectionnements

CHAUDIÈRE STEINMÜLLER

Munie de surchauffeur Steinmüller

FONDÉE EN 1874



Plus d'un million de Chevaux-Vapeur en marche.

L. ET C. STEINMÜLLER, GUMMERSBACH

(Province Rhénane)

LA PLUS GRANDE FABRIQUE

De Chaudières tubulaires de l'Allemagne

Fondée en 1874

On cherche une Maison de construction en France.

dans les bobines en bandes ou barres pour machines électriques.

HEIDEL. 300 546, B F, 22 mai 1900. Inducteur à noyaux susceptibles d'être retirés.

GEISENHONER. 656 961, U S A P, 8 septembre 1900. Dispositif de fixation des pièces polaires.

ALEXANDER, 657 908. U S A P, 29 septembre 1900. Régulateur de vitesse pour les dynamos.

SPENCE. 656 128, U S A P, 12 mai 1899. Procédés de régulation des machines dynamos.

Moteurs. — HENRY. 656 972, U S A P, 8 septembre 1900. Moteur électrique.

PATRICK. 655 852, U S A P, 1er décembre 1899. Moteur électrique.

RIGAL et DANEL. 303 061, B F, 17 août 1900. Moteur magnétique permanent.

THOMSON-HOUSTON (BRITISH C°). 8 476, B P, 1900. Moteur d'induction.

GUENÉE. 300 445, B F, 19 mai 1900. Moteur électrique formé par des électro-aimants à longue course et à efforts réglables à chaque point de la course.

HUYCK. 657 165, U S A P, 15 septembre 1900. Moteur pour machine à coudre.

PERRET. 300 686, B F, 26 mai 1900. Dispositif moteur électrique à double coupe-circuit.

ANDRIEU et DE SOISEL. 300 690, B F, 26 mai 1900. Système de moteur électro-magnétique.

KLOCKNER. 114 232, D R P, 30 mars 1899. Dispositif de mise en marche pour moteur shunt pour éviter l'étincelle d'ouverture.

ELEKTRIZITATS (A.-G.), anciennement SCHUCKERT et Cie. 114 234, D R P, 19 mai 1898. Disposition pour éviter la formation d'étincelles à la mise en marche ou pendant le réglage des résistances.

BROWN BOVERI et Cie. 113 985, D R P, 3 janvier 1900. Disposition pour mettre en court-circuit l'induit et écarter les balais d'un électro-moteur.

A. E. G. 114 053, D R P, 7 décembre 1899. Pendule à force centrifuge pour la mise en court-circuit de l'enroulement inducteur des moteurs à champ tournant.

Société SIEMENS et HALSKE ACTIENGESELLSCHAFT. 302 936, B F, 10 août 1900. Système de commutation rapide applicable à la mise en route et au freinage des moteurs électriques à courant continu.

LEITNER (H.). 114 047, D R P, 28 juin 1899. Commutateur à tambour pour électro-moteurs.

LUNDELL. 302 236, B F, 13 juillet 1900, Perfectionnements apportés au réglage des moteurs électriques.

Piles et Accumulateurs.

FISHELL. 655 968 U S A P, 20 janvier 1900. Piles.

MARTIN (A.-C.). 8 586, B P, 1900. Piles.

DELFAYET. 300 878, B F, 1er juin 1900. Pile primaire à deux liquides.

ROSSET. 302 568, B F, 28 juillet 1900. Pile électrique à dépolarisant chimique spécial.

DERCUM. 8 299 300, B P, 1900. Pile régénérable à 2 liquides.

Société anonyme LE CARBONE. 303 209, B F, 23 août 1900. Pile hermétique démontable.

HERMITE et COOPER. 302 680, B F, 1er août 1900. Pile thermo-électrique.

LANGVILLE. 302 240, B F, 16 juillet 1900. Perfectionnements relatifs aux piles thermo-électriques.

DERCUM. 300 366 et 300 367, B F, 15 mai 1900. Perfectionnements dans les piles primaires.

JEANTY. 300 302, B F, 14 mai 1900. Perfectionnements aux piles secondaires et primaires.

CHEVAL LINDEMAN. 658 235, U S A P, 29 septembre 1900. Accumulateur.

FORD. 654 769, U S A P, 5 septembre 1895. Accumulateur.

JAMIESON. 657 659, U S A P, 21 septembre 1900. Accumulateur.

MEYGRET. 300 612, B F, 23 mai 1900. Accumulateur léger.

CHALAS (A. et L.). 302 673, B F, 1er août 1900. Accumulateur au plomb armé.

FABRY. 303 113, B F, 20 août 1900. Accumulateur au sulfate de zinc neutre.

ALEXANDER-KATZ. 300 748, B F, 29 mai 1900. Accumulateur à électrodes composées d'une carcasse non conductrice et à conducteurs de plomb changeables.

Société anonyme suisse des ACCUMULATEURS TRIBELHORN. 301 466, B F, 21 juin 1900. Nouveau système d'accumulateur à haute tension.

TEXIER d'ARNOULT. 301 522, B F, 22 juin 1900. Nouvel accumulateur.

BAINVILLE. 302 494, B F, 25 juillet 1900. Nouvel accumulateur électrique.

GENARD (Albert), GENARD (Alcide). 301 030, B F, 7 juin 1900. Nouvel accumulateur Robinson.

DE BOBINSKY. 301 423, B F, 19 juin 1900. Système perfectionné d'accumulateur électrique.

RODRIAN. 302 124, 12 juillet 1900. Élément d'accumulateur avec plaque de fond régénératrice.

BENIER. 300 298, B F, 14 mai 1900. Perfectionnements aux accumulateurs électriques.

Paul CHAPUY et Cie. 302 431, B F, 24 juillet 1900. Perfectionnement aux accumulateurs électriques.

HEINZ. 300 273, B F, 12 mai 1900. Perfectionnements aux accumulateurs électriques.

WIEGAND. 300 928, B F, 5 juin 1900. Perfectionnements dans les accumulateurs électriques.

LUGARD. 302 937, 10 août 1900. Perfectionnements apportés aux accumulateurs électriques.
Société THE ELECTRICAL UNDERTAKINGS LD. 301 513, B F, 22 juin 1900, Perfectionnements apportés aux accumulateurs électriques.
HATHAWAY. 303 042, B F, 14 août 1900. Perfectionnements dans la fabrication des piles secondaires.
RENTHERDAHL. 301 571, B F, 23 juin 1900. Perfectionnements aux piles secondaires.
WIEGAND. 300 929, B F, 5 juin 1900. Perfectionnements dans les piles secondaires et les plaques conductrices pour accumulateurs.
GARASSINO. 300 941, B F, 5 juin 1900. Perfectionnements dans la construction des plaques électriques à fortes décharges.
DEVAUCELLE et LAHAUSSOIS. 300 677, B F, 26 mai 1900. Procédé de fabrication d'un nouvel accumulateur sans pastillage et à plaques rigides, système L. D. R. L.
BELL. 656 095, U S A P, 9 mars 1900. Plaque d'accumulateur.
BOWKER. 657 638, U S A P, 21 septembre 1900. Plaques d'accumulateurs.
RIBBE (P.-F.). 651 471, USAP, 28 février 1899. Electrode pour accumulateurs.
SIBER (C.). 114 026, D R P, 4 octobre 1899. Electrode d'accumulateur.
GOLDSTEIN. 302 081, B F, 11 juillet 1900. Electrode positive pour accumulateurs.
HEILMANN. 303 235, B F, 24 août 1900. Mode de fabrication des électrodes d'accumulateurs.
FOUILLAUD, 302 215. B F, 16 juillet 1900. Appareil pour la coulée des métaux facilement fusibles particulièrement applicable à la coulée des plaques d'accumulateurs.
DAVID. 302 588, B F, 30 juillet 1900. Mode de fabrication des barreaux à section en croix entrecroisées d'ailettes pour plaques d'accumulateurs.
LEITNER (H.). 662 277. U S A P. 28 mai 1900. Séparateur pour plaques d'accumulateurs.
HAYES. 657 413, U S A P, 15 septembre 1900. Connecteur pour pile.
GOLDSTEIN. 302 175. B F, 13 juillet 1900. Schéma de circuit pour les électrodes d'un accumulateur dans le but de la répartition régulière du courant de charge et de décharge dans l'électrolyse.
HELLMANN. 301 601, B F, 25 juin 1900. Dispositifs pour l'indication automatique de la charge et de l'épuisement des accumulateurs et d'appareils similaires.
CONDICT. 656 882, USAP, 8 septembre 1900. Banc de charge et dispositif de contact pour accumulateur.
HEIM. 301 784, B F, 2 juillet 1900. Procédé pour augmenter la capacité des accumulateurs électriques aux plaques en plomb en les chauffant.
HERTEL. 12 788, B P, 1899. Procédé pour augmenter la conductibilité des charbons de pile et de balais.

Distribution.

DAVIS. 656,578, U S A P. 1er septembre 1900. Système de distribution électrique.
SUNT. 656 650, USAP, 8 septembre 1900. Système de distribution électrique.
ROACH (H.-F.). 656 266, U S A P, 1er septembre 1900. Système de distribution électrique.
THOMSON. 656 680, USAP, 8 septembre 1900. Système de distribution électrique.
COMPAGNIE FRANÇAISE POUR L'EXPLOITATION DES PROCÉDÉS THOMSON-HOUSTON. 300 692, B F, 26 mai 1900. Nouveau système de distribution de courants électriques.
COMPAGNIE POUR L'EXPLOITATION DES PROCÉDÉS THOMSON-HOUSTON. 302 546, B F, 28 juillet 1900. Nouveau système de distribution électrique.
MAICHE (Louis), MAICHE (Charles) et DE MARTENNE. 301,343, B F, 18 juin 1900. Nouveau système de transmission des courants électriques.
LAMSON PNEUMATIC TUBE Co LTD. 302 385, B F, 21 juillet 1900. Perf. aux appareils de transport ou de transmission.
STORER. 300 680, B F, 26 mai 1900. Perfectionnements dans la distribution des courants électriques.
LAMME. 114 237, D R P, 18 mars 1899. Disposition pour la production d'une tension constante au moyen d'une machine à courant continu marchant à vitesse variable.
HIGHFIELD. 113 987, D R P, 31 octobre 1899. Production de courant à tension constante au moyen d'une source à tension variable.
LOESCHIGK (R.) et THOMSEN. 115 079, D R P, 20 janvier 1900. Dispositif de liaison de deux conduites de courant de haute tension alimentées séparément et indépendantes.
ATHEARN. 659 357, U S A P, 23 janvier 1899. Appareil pour localiser les défauts dans les circuits électriques.

Appareillage.

SUTTER. 658 192, USAP, 29 septembre 1900. Conducteur électrique.
ROSATI. 302 251, B F, 17 juillet 1900. Câbles souterrains pour le transport de l'énergie électrique système Rosati.
GUILLEAUME. 657 196, USAP, 15 septembre 1900. Câbles sous-marins.
BESSONNEAU. 300 413, B F, 17 mai 1900. Perfectionnements aux câbles électriques.

Buchanan. 300 360, B F, 15 mai 1900. Perfectionnements dans les câbles électriques.
Gray. 300 361, B F, 15 mai 1900. Perfectionnements dans les câbles électriques.
Beard. 656 923, U S A P, 8 septembre 1900. Tendeur de câble.
Hackethal (L.). 657 104, U S A P, 15 septembre 1900. Procédé pour tendre ou supporter les conducteurs électriques.
Sinding-Larsen. 657 574, U S A P, 21 septembre 1900. Isolateur à haut voltage.
Hochstein. 114 236, D R P, 28 décembre 1899. Support d'isolateur.
Risler. 301 565, B F, 23 juin 1900. Perfectionnements aux isolateurs.
Société des anciens établissements Parvillée frères. 301 405, B F, 19 juin 1900. Perfectionnements apportés aux isolateurs en porcelaine.
Wright et Aalborg. 301 667, B F, 26 juin 1900. Perfectionnements dans les supports isolants pour conducteurs électriques.
Reynolds (P.-G.). 662 244, U S A P, 20 août 1900. Tête de poteau pour canalisation aérienne.
Howard. 300 204, B F, 10 mai 1900. Perfectionnement dans la fabrication des tuyaux pour conducteurs électriques, conduites à gaz ou à liquide.
Frhr. F. von Mairhofen, 115 678, D R P, 29 janvier 1899. Installation souterraine pour conduite de courant de train.
Freytag. 302 307, B F, 18 juillet 1900. Pierre de construction pour la confection de caniveaux protecteurs pour les câbles.
Mairhofen (Frhr d'). 114 434, D R P, 29 janvier 1899. Canal pour conducteur souterrain avec coffre démontable.
Howard (A.-H.). 656 192, U S A P, 1er septembre 1900. Conduites pour conducteurs électriques.
Vouriot. 300 517, B F, 21 mai 1900. Moulure isolante pour conducteurs électriques.
Osburn. 301 661, B F, 26 juin 1900. Enveloppe pour conducteurs électriques.
Tesla (N.). 655 838, U S A P, 15 juin 1900. Méthode d'isolation des conducteurs électriques.
Tesla. 303 025, B F, 14 août 1900. Perfectionnements à l'isolement des conducteurs électriques.
Clanss (F.). 114 057, D R P, 28 janvier 1899. Procédé de fabrication d'une matière isolante au moyen de déchets de serpentine.
Lamm. 662 003, U S A P, 9 juin 1900. Connecteur pour conducteurs électriques.
Brown. 7 567, B P, 1900. Connecteur de câble.
Ash (F.). 656 158, U S A P, 1er septembre 1900. Connecteur de fil.
Maxstadt. 655 905, U S A P, 11 juin 1900. Connecteur de fil et procédés pour les fabriquer.
Maxsdadt. 302 986, B F, 13 août 1900. Joint pour raccorder les extrémités des conducteurs électriques et son mode de fabrication.
Barbour. 657 910, U S A P, 29 septembre 1900. Ciment métallique pour jonction de conducteur.
Platt. 659 546, U S A P, 27 juin 1900. Plots et fiches.
Francis (H.). 657 732, U S A P, 21 septembre 1900. Boîte de jonction.
Froschl. 656 284 et 656 454, U S A P, 1er septembre 1900. Dispositif de prise de courant non interchangeable.
Galsworthy. 7 695, B P, 1900. Prise de courant pour éclairage et chauffage.
Dempster (J.-T.-H.). 656 177, U S A P, 1er septembre 1900. Commutateur.
Ely. 8 160, B P, 1900. Commutateur.
Gill. 659 443, U S A P, 1er mars 1900. Commutateur.
Hoffmann. 656 291, U S A P, 1er septembre 1900. Communitateur.
Wappler. 656 870, U S A P, 8 septembre 1900. Communitateur.
Westerdahl. 657 804, U S A P, 21 septembre 1900. Pointe pour segment de communitateur.
E. A. G. (vorm Schuckert). 114 058, D R P, 16 avril 1899. Commutateur instantané.
Lindstrom Hewitt et Hewitt. 7 606, B P, 1900. Commutateur contrôleur.
Hopkinson. 658 064, U S A P, 29 septembre 1900. Commutateur pour courants alternatifs.
Eck. 656 716, U S A P, 8 septembre 1900. Commutateur électrique mû par l'air comprimé.
Siemens et Halske. 114 093, D R P, 16 juin 1899. Commutateur à extinction d'étincelles par l'introduction de la pièce mobile de fermeture du courant dans un tube isolant.
Kingsland. 302 120, B F, 12 juillet 1900. Procédé et dispositifs perfectionnés pour régler ou contrôler les commutateurs électriques.
Evershed (S.) et Evershet et Vignoles. 113 986, D R P, 29 octobre 1899. Inverseur électrique avec balais à disques.
Brubaker (G.-W.-S.) et Twining (W.-S.). 656 282, USAP, 1er septembre 1900. Coupe-circuit.
Davisand (Wright) 14 907, B P, 23 mars 1899. Coupe-circuit.
Garrett. 656 105, U S A P, 1er décembre 1899. Coupe-circuit.
Perry. 659 417, U S A P, 26 mars 1900. Coupe-circuit automatique.

COMPAGNIE FRANÇAISE DES MÉTAUX



Société anonyme
au capital de **25 millions** de francs

Siège social :
10, rue Volney, PARIS, Téléphone deux fils { n° 247-84 / n° 247-85 }

FILS ET CABLES DE HAUTE CONDUCTIBILITÉ

Fils Télégraphiques et Téléphoniques

BARRES POUR TABLEAUX DE DISTRIBUTION

Coins pour Collecteurs de Dynamos, etc., etc.

Société anonyme des anciens Établissements

PARVILLÉE FRÈRES & Cie

Au Capital de 1.000.000 de francs

Siège social : 29, Rue Gauthey, 29. — PARIS

MANUFACTURE DE PORCELAINE ET FERRURES POUR L'ÉLECTRICITÉ. — MATÉRIEL POUR LIGNES A HAUTE ET BASSE TENSION

Manufacture d'Appareils de Chauffage et Résistances électriques
BREVETS PARVILLÉE)

Adresse télégraphique : **CÉRAMIQUE-PARIS.** **TÉLÉPHONE 510-72.**

Usine à Bezons (Seine-et-Oise) — ANCIENS ÉTABLISSEMENTS — Usine à Calais (Pas-de-Calais)

RATTIER & MENIER

SOCIÉTÉ INDlle DES TÉLÉPHONES

Constructions électriques, Caoutchouc, Câbles

Société anonyme au capital de 18,000,000 de francs

PARIS, 25, rue du 4-Septembre, PARIS

CABLES ELECTRIQUES de tous systèmes.
CABLES pour lumière (Hautes et Basses tensions).
CABLES pour transport de force.
CABLES pour traction électrique.
CABLES pour télégraphie et téléphonie, etc., etc.
} isolés au caoutchouc, isolés à la gutta-percha, isolés au papier et jute imprégnés, isolés au papier et à circulation d'air sec, sous rubans, tresses et guipages, sous plomb, sous armature de feuillards ou de fils d'acier.

APPAREILS TELEPHONIQUES système Ader et Berthon.
APPAREILS TELEGRAPHIQUES Morse, Hughes, etc.
APPAREILS ELECTRIQUES de toutes sortes, signaux de chemin de fer, avertisseurs d'incendie, etc., etc.
APPAREILLAGE pour lumière électrique, coupe-circuits, interrupteurs pour hautes et basses tensions, tableaux de distribution, etc., etc.

CAOUTCHOUC
GUTTA-PERCHA
EBONITE
BOIS DURCI
IVORINE
EBURINE
} pour toutes les applications et en particulier pour l'Industrie électrique.

COURROIES en caoutchouc et **COURROIES BALATA** pour dynamos et moteurs électriques.

Usine à Paris, 7, rue du Théâtre

Fournisseur de toutes les grandes Administrations en France et à l'Etranger



Usine à Paris, 2, rue des Entrepreneurs

Cie du GAZ H. RICHÉ

Société anonyme au capital de 1.000.000 de francs

Paris, 28, rue Saint-Lazare

Usine d'essais et de démonstrations à LISORS (Eure)

ATELIERS DE CONSTRUCTION
15, rue Curton à Clichy

USINE EN FONCTIONNEMENT

A L'EXPOSITION UNIVERSELLE

Classe 20. Annexe de Vincennes

Installations complètes d'Usines à gaz économique

Système H. RICHÉ

pour Éclairage, Chauffage et Force motrice

MOTEURS & MACHINES DE TOUTES MARQUES

Etudes et Devis fournis gratuitement sur demande

ADRESSE TÉLÉGRAPHIQUE : RICGAZ-PARIS

Téléphone : 250-55

Digitized by Google

L'Éclairage Électrique

AVIS AUX ABONNÉS

Pour éviter tout retard et toute interruption dans le service du journal, nous vous serions reconnaissants de vouloir bien nous faire parvenir le plus tôt possible le montant de votre renouvellement, soit :

50 fr. ***pour la France;***
60 fr. ***pour l'Union postale.***

Nous rappelons à tous nos abonnés et lecteurs qu'à partir du 1er janvier 1901, le prix des numéros séparés est porté à **1** fr. **50.**

... formées électrochimiquement et sortent de cette opération recouvertes d'une couche mince et adhérente de peroxyde cristallin.

**

Tome XXV. Samedi 29 Décembre 1900. 7e Année. — N° 52.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

ACCUMULATEURS DE LA « CHLORIDE ELECTRICAL STORAGE SYNDICATE LIMITED »

The Chloride Electrical Storage Syndicate Limited expose un certain nombre d'éléments différents qu'elle fabrique dans son usine de Manchester.

Plaques. — La plaque positive semblable pour tous les types d'éléments, les dimensions seules étant variables, est représentée ici par la figure 1, qui se rapporte à une plaque ayant comme dimensions extérieures : hauteur, 252 mm, queue non comprise, largeur, 235 mm. C'est un quadrillage en plomb antimonieux coulé sous pression, afin d'obtenir un métal plus homogène. Ce quadrillage coulé présente une série de trous de section circulaire et de forme tronconique, la petite base étant au milieu de la plaque, ce qui permet le démoulage. C'est dans ces trous qu'on vient loger le plomb actif ; celui-ci est constitué de la façon suivante : de longues bandes en plomb doux ayant comme largeur l'épaisseur de la plaque, soit environ 8 mm, sont laminées par des machines spéciales qui produisent sur un côté du ruban des côtes à section triangulaire et le découpent ensuite de longueur convenable.

Après cette opération désignée sous le nom de « gimping », les bandes sont enroulées en forme de spirale (rosette), puis introduites à la main dans les trous du quadrillage. Quand les plaques sont remplies, on les comprime à la presse hydraulique ; cette compression complète mécaniquement la fixation des rosettes. Les figures 1, 2 et 3 montrent un ruban et une rosette.

Les plaques ainsi fabriquées, montées comme positives en regard de plaques de plomb servant d'électrodes négatives d'atelier, sont formées électrochimiquement et sortent de cette opération recouvertes d'une couche mince et adhérente de peroxyde cristallin.



Comme on le voit, cette plaque positive appartient au genre Planté.

En modifiant convenablement le rapport entre le poids de plomb doux et le poids total de la plaque, on peut faire varier la capacité spécifique de la plaque et en faire à volonté une plaque à poste fixe ou une plaque de traction. Dans le premier cas, ce rapport atteint environ 50 p. 100 ; il est ordinairement égal à 58 p. 100 environ dans le second cas. C'est ce qu'on peut déduire du tableau comparatif suivant.

		Poste fixe.	Traction.
Dimensions des plaques en mm.	hauteur	270	254
	largeur	235	182
	épaisseur	8	8
Poids en kg.	quadrillage	2,098	1,248
	rosettes	2,125	1,728

La plaque négative est du type à pastilles de chlorure de plomb. C'est la plaque bien connue de la Société pour le travail électrique des Métaux. La forme seule de la pastille est ici un peu différente. La figure 4 qui se rapporte à une plaque négative de 272 mm de hauteur (queue non comprise) et de 235 mm de largeur est composée, comme on le voit, de pastilles hexagonales perforées chacune de deux petits trous qui assurent la circulation de l'électrolyte et empêchent les gonflements de matière. Le chlorure de plomb est fabriqué à l'usine par précipitation ; après séchage il est introduit dans des grands creusets, mélangé à du chlorure de zinc. Le mélange fondu est alors coulé en pastilles et ces pastilles sont disposées ensuite à la main dans un moule à plaques, Le plomb antimonieux coulé dans ce moule sertit toutes les pastilles dont tous les côtés sont en biseau. Pour la réduction, les plaques sont mises en contact avec des plaques de zinc et les pastilles de chlorure de plomb sont transformées en pastilles de plomb spongieux.

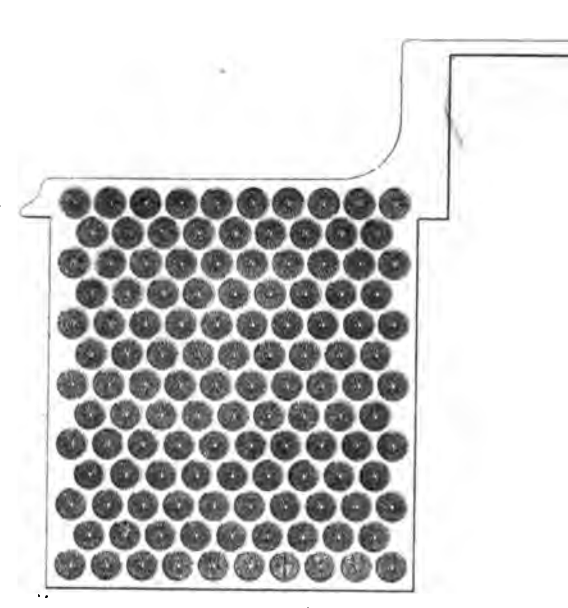


Fig. 1. — Plaque positive.

En faisant varier les proportions relatives de plomb spongieux et de quadrillage, on peut faire varier la capacité spécifique. Le tableau suivant permet de comparer à ce point de vue les plaques négatives à poste fixe et de traction.

Le rapport entre le poids de plomb spongieux et le poids total de la plaque atteint 0,435 dans le premier cas et 0,472 dans le second.

		Poste fixe.	Traction.
Dimensions des plaques en mm.	hauteur	276	254
	largeur	235	182
	épaisseur	5	5
Poids en kg.	quadrillage	1,394	0,848
	plomb spongieux	1,072	0,756

Éléments. — Pour les éléments à poste fixe, le montage des plaques s'effectue dans des bacs en verre pour les petits éléments et, pour les gros, dans des bacs en bois doublé de plomb ou encore en plomb massif.



Les plaques sont suspendues par les crochets qu'elles portent à la partie supérieure (fig. 1 et 4) sur deux dalles de verre qui sont fixées en bas dans les rainures d'un châssis en bois reposant au fond du bac et retenues en haut par les crochets de forme spéciale des négatives (voir fig. 4). L'écartement des plaques est assuré par des tubes de verre possédant une tête aplatie qui repose sur la partie supérieure des plaques. La figure 5 donne une vue d'ensemble de l'élément type R G 7 pour éclairage. Les plaques sont soudées à deux barrettes massives en plomb qui portent les queues de prise de courant.

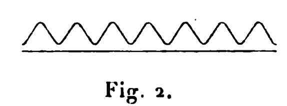


Fig. 2.

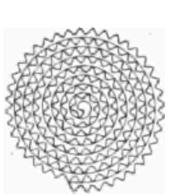


Fig. 3.

Pour les éléments de traction, ou transportables, le montage s'effectue dans des bacs d'ébonite.

D'après les constructeurs, les plaques positives de ce type, en service notamment sur les tramways de Birmingham, seraient capables de donner un parcours de 40 000 kilomètres-voitures sans renouvellement.

Dans le tableau I ci-dessous, nous avons résumé les principales valeurs caractéristiques de deux éléments du type à poste fixe.

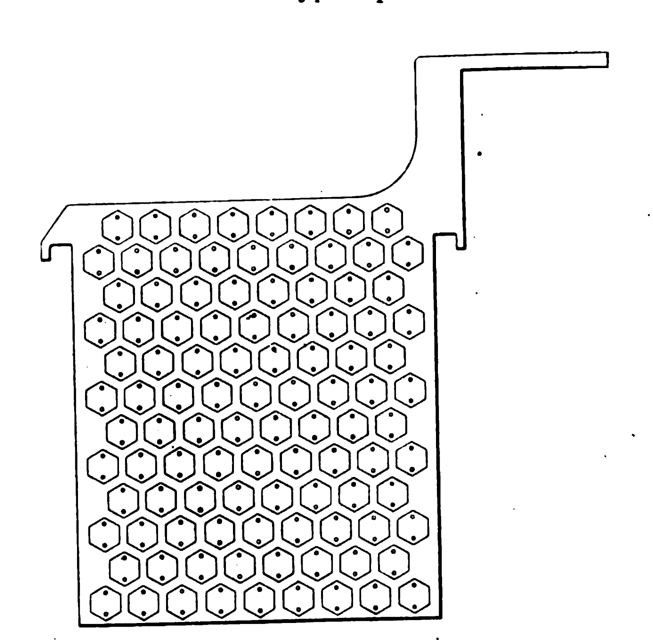




Fig. 4. — Plaque négative.



Fig. 5. — Elément du chloride Electrical Storage Syndicate.

Le tableau II se rapporte à un élément spécialement employé pour la propulsion des bateaux de plaisance.

Tableau I

		R. G. 4	R. L. 20
Type de l'élément		R. G. 4	R. L. 20
Nature du bac		Verre	Plomb
Dimensions extérieures du bac	haut. en mm	356	356
	long. »	178	788
	larg. »	317	381



Nombre de plaques		9 (4 + et 5 —)	41 (20 + et 21 —).
Dimensions des plaques	haut. en mm	270 (+) 276 (—)	270 (+) 276 (—)
	larg. »	235	235
	épais. »	8 (+) 5 (—)	8 (+) 5 (—)
Poids des plaques positives, en kg.		16,89	84,46
» » négatives »		12,33	51,79
Poids total d'électrodes »		29,22	136,25
Poids total de l'élément »		57,50	291
Capacités aux différents régimes	9 heures	240 amp.-h. à 27 amp.	1 200 amp.-h. à 133 amp.
	6 »	216 » à 36 »	1 080 » à 180 »
	3 »	176 » à 59 »	880 » à 293 »
	1 »	120 » à 120 »	600 » à 600 »
Intensité de charge en ampères	normale	32	160
	maxima	60	295

Tableau II

Type de l'élément		L R E 2
Nature du bac		ébonite
Dimensions extérieures de l'élément en mm	hauteur	343
	longueur	89
	largeur	241
Nombre de plaques		5 (2 + et 3 —)
Poids total de l'élément, en kg.		16,33
Capacités aux différents régimes	9 heures	80 amp.-h. à 9 amp.
	6 »	72 » à 12 »
	3 »	60 » à 20 »
	1 »	40 » à 40 »
Intensité de charge, en ampères	normale	10
	maxima	20

Rapportées au kilogramme de poids total, les capacités massiques sont donc les suivantes :

	Capacites massiques en amp.-h. : kg de poids total	
	Poste fixe.	Traction (propulsion des bateaux).
Décharge en 9 heures	4,17	4,90
» 6 »	3,76	4,42
» 3 »	3,06	3,68
» 1 »	2,09	2,45

Les différences de potentiel minima étant : 1,85 volt, pour la décharge en 9 heures, 1,80 volt, pour celle en 6 heures, 1,75 volt et 1,65 volt, pour les décharges en 3 heures et 1 heure.

J. Reyval.

REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DES VARIABLES EFFICACES

DES COURANTS ALTERNATIFS EN FONCTION DES COURBES PÉRIODIQUES

La variable efficace X_{eff} d'un courant alternatif de période T étant liée à la variable réelle par la relation

$$X_{eff} \times T = \int^{t+T} X^2 dt$$

la remarque suivante permet, dans beaucoup de cas, de calculer facilement et exactement la variable efficace en fonction de la valeur maximum X_{max} de la variable réelle quand la courbe périodique $X = f(t)$ est connue graphiquement. Elle fournit, de l'intégrale $\int_t^{t+T} X^2\, dt$, un mode de représentation susceptible, croyons-nous, d'être fréquemment utilisé.

Cette intégrale représente en effet le double du volume prismatique ou cylindrique ayant, pour génératrices, des droites perpendiculaires au plan de la courbe $X = f(t)$, pour directrice, cette courbe, et limité, d'une part, à un plan passant par l'axe OT et incliné à 45° sur le plan XOT, d'autre part à deux plans perpendiculaires à OT et distants d'une longueur égale à la période T.

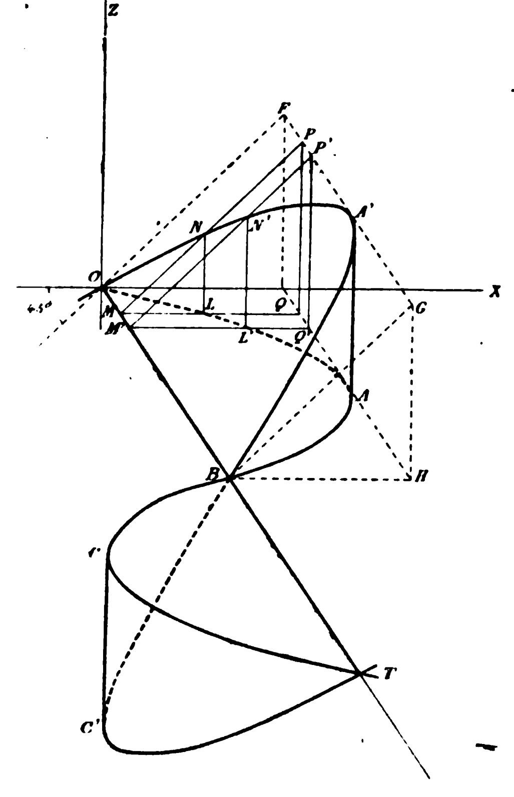


Fig. 1.

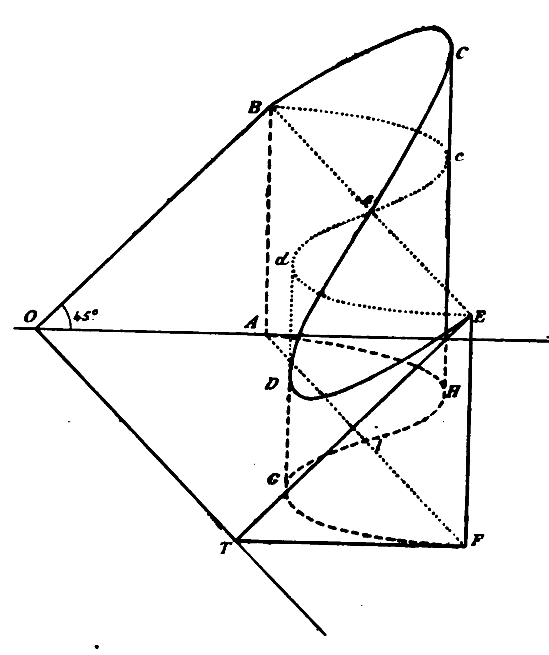


Fig. 2.

L'élément différentiel MNL M'N'L' de ce volume compris entre deux plans perpendiculaires à OT et distants de la longueur $MM' = dt$ a en effet pour expression $\frac{1}{2}$ ML $\times$ LN $\times$ $MM' = \frac{1}{2} X^2\, dt$ et le volume total défini comme il vient d'être dit a bien pour valeur $\frac{1}{2} \int_t^{t+T} X^2\, dt$.

I. *Courants sinusoïdaux.* — Considérons en particulier la sinusoïde OABCT (fig. 1) définie par la relation $X = X_{max}. \sin \frac{2\pi}{T} t$.

L'intégrale $\int_t^{t+T} X^2 dt$ correspondante peut être représentée par le volume OAA'BCC'T et il en serait de même dans le cas où la courbe périodique serait de la forme $X = X_{max}. \cos \frac{2\pi}{T} t$.

Comparons le volume OAA'B à celui du prisme OEFBGH ([1]) de hauteur $OB = \frac{T}{2}$ et de base $OEF = \frac{1}{2} X^2_{max}$ L'élément différentiel MNLM'N'L' du premier a pour expression $\frac{1}{2} X^2_{max} . \sin^2 \frac{2\pi}{T} t dt$, l'élément différentiel MPQM'P'Q' du second $\frac{1}{2} X^2_{max} dt$; il en résulte que l'élément différentiel LNPQL'N'P'Q' du volume OEFAA'BGH a pour expression $\frac{1}{2} X^2_{max} \left(1 - \sin^2 \frac{2\pi}{T} t\right) dt = \frac{1}{2} X^2_{max} \cos^2 \frac{2\pi}{T} t dt$ et que le volume OAA'B est égal à la moitié du prisme OEFBGH dont l'expression est $\frac{1}{2} T \times \frac{1}{2} X^2_{max}$.

Donc lorsque $X = X_{max} \sin \frac{2\pi}{T} t$ ou $X_{max} \cos \frac{2\pi}{T} t$ l'intégrale $\int^{+T} X^2 dt$ a pour valeur $\frac{1}{2} T X^2_{max}$ et $X_{eff.} = \frac{X_{max}}{\sqrt{2}}$

II. *Courants ondulés.* — Dans le cas d'un courant ondulé la variable réelle est la somme d'une quantité constante et d'une variable alternative,

$$X = X_1 + X_2 \sin \frac{2\pi t}{T}$$

par exemple dans le cas d'un courant ondulé sinusoïdal.

On voit de suite, en se reportant à la figure 2, que, dans ce cas, les volumes cylin-

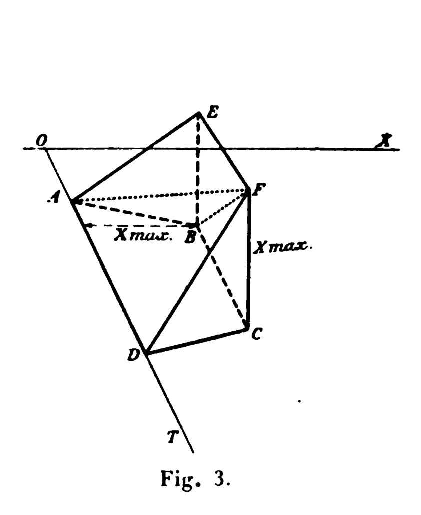


Fig. 3.

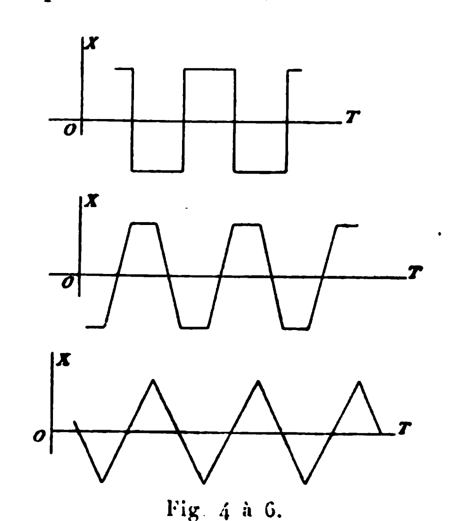


Fig. 4 à 6.

driques AHIB*ce* et FGIE*de* sont équivalents. Il en résulte que le volume OAHIGFTBCDE, représentant l'intégrale $\frac{1}{2} \int_t^{t+T} X^2 dt$ (fig. 2), et la somme des volumes OABTEF et BC*ced*ED, représentant respectivement l'intégrale $\int_t^{t+T} X^2 dt$ pour le courant continu et pour le courant alternatif, sont équivalents.

On en déduit immédiatement la relation connue :

$$X^2_{eff} (\text{ondulé}) = X^2 (\text{continu}) + X^2_{eff} (\text{alternatif}).$$

([1]) La lettre E, oubliée sur la figure (1), est la projection de F sur OX.

On voit en outre qu'il suffit, pour que cette relation subsiste quelle que soit la forme du courant alternatif, que, dans l'étendue d'une période, les « dents » de sa courbe périodique situées de part et d'autre de l'axe de comparaison présentent des surfaces équivalentes.

III. *Courants dont la fonction périodique est représentée par une série de « dents » trapézoïdales et alternées par demi-période.* — Soit ABCD (fig. 3) l'une de ces dents ; le volume qui représente l'intégrale $\int_t^{t+T} X^2\, dt$ n'est autre que le quadruple du tronc de prisme ABCDEF égal lui-même à la somme des volumes des deux pyramides ABEF et FABC.

Si $\frac{T}{m}$, $\frac{T}{n}$ représentent les longueurs AD, BC en fonction de la période, X_{max} la hauteur du trapèze ABCD ainsi que la hauteur FC de la seconde de ces deux pyramides, le volume du tronc de prisme aura pour expression

$$\frac{1}{3} X_{max} \times \frac{1}{2} X_{max} \times \frac{T}{n} + \frac{1}{3} X_{max} \times \frac{1}{2} \left(\frac{T}{m} + \frac{T}{n} \right) \times X_{max}$$

ou

$$\frac{1}{2} X^2_{max} \left(\frac{2}{3} \frac{T}{n} + \frac{1}{3} \frac{T}{m} \right).$$

L'intensité efficace du courant sera donnée par la relation.

$$X^2_{eff} = \frac{2}{3} X^2_{max} \left(\frac{2}{n} + \frac{1}{m} \right).$$

En particulier

$$\text{Si } m = n = 2, \text{ (fig. 4) } X_{eff} = X_{max}$$

$$\text{Si } m = 2, n = 4, \text{ (fig. 5) } X_{eff} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} X_{max}$$

$$\text{Si } m = 2\ n = \infty \text{ (fig. 6) } X_{eff} = \frac{X_{max}}{\sqrt{3}}.$$

En pratique la courbe $X = f(t)$ n'affectera jamais des formes géométriques aussi simples que celles que nous venons de considérer ; son tracé comportera au contraire des « arrondis » plus ou moins prononcés (fig. 7).

Le calcul de l'intégrale $\int_t^{t+T} X^2 dt$ peut encore s'effectuer exactement lorsque ces arrondis peuvent être assimilés à des portions de circonférences de rayons et d'ouvertures angulaires connus.

Le volume total dont elle représente le double de l'expression pourra toujours en effet se décomposer en une somme de volumes partiels dont les expressions en fonction de leurs éléments linéaires sont généralement connues sauf, peut-être, pour les portions de cylindres ayant pour périmètre de base un arrondi et deux droites menées par les extrémités de l'arrondi, l'un parallèlement, l'autre perpendiculairement à l'axe de comparaison, et dont les génératrices seraient limitées à un plan passant par la première de ces droites et incliné à 45° sur le plan de base,

Une intégration simple conduit à l'expression du volume de ces éléments cylindriques. Cette expression diffère, bien entendu, suivant que la concavité de l'arrondi est tournée ou non vers l'axe de comparaison. Nous indiquerons seulement le résultat de cette intégration.



1° Soit ABCD (fig. 8) l'élément cylindrique considéré, r, le rayon de l'arrondi, $l =$ arc BC, son ouverture et a la longueur oA. Le volume $v =$ ABCD a pour expression :

$$v = \frac{1}{3}\left(r^2 - a^2\right)^{\frac{3}{2}} - \frac{arl}{3} + \frac{1}{2} a^2 \sqrt{r^2 - a^2};$$

2° le volume v' de l'élément BCDE (fig. 9) à concavité inverse du précédent, a pour expression :

$$v' = \frac{1}{3}\left(r^2 - a^2\right)^{\frac{3}{2}} - \frac{rrl}{2} + \frac{1}{2} ar\sqrt{r^2 - a^2} + \frac{1}{2}\left(r - a\right)^2 \sqrt{r^2 - a^2}$$

En exprimant toutes les longueurs qui définissent les volumes partiels, dont le total

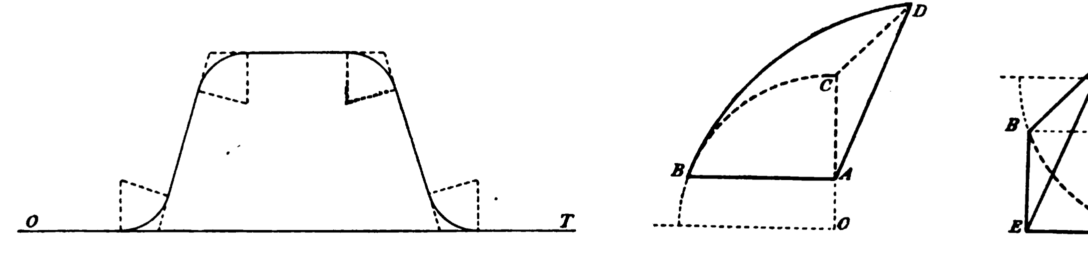


Fig. 7, 8 et 9.

forme le volume V représentant l'intégrale $\frac{1}{2} \int_t^{t+T} X^2 dt$, en fonction de la période T et de la variable maximum X_{max} ce volume pourra toujours se mettre sous la forme

$$V = TX^2_{max} \times \varphi\,(l, m\, n \ldots)$$

la fonction φ ne dépendant que de la forme géométrique des dents de la courbe périodique $X = f(t)$ et les quantités numériques l, m, n... de leurs proportions évaluées par rapport à la période et à la valeur maximum de la variable.

E. Brisse.

A PROPOS DE LA RUPTURE DE L'ISOLANT

DES CABLES CONCENTRIQUES

Le résumé du travail de M. Kapp sur les décharges dues aux effets de capacité dans les distributions à câbles concentriques, paru récemment dans ce journal [1], nous a donné l'idée de publier quelques mots sur la question dans le but de montrer, par la méthode graphique, qu'un calcul très simple s'applique à la détermination de la tension maximum entre le conducteur extérieur et la terre et que l'emploi du graphique peut être facilement généralisé pour le tracé des courbes de tension.

Nous ferons l'étude d'un circuit à self-induction et capacité dans deux cas particuliers : le premier avec source de force électromotrice et self constantes, capacité variable ; le

(1) *Écl. Élect.*, t. XXIII, p. 93, 21 avril 1900.

second donné par le secondaire d'un transformateur en court-circuit sur une capacité constante, le primaire étant alimenté sous tension constante. Puis, nous indiquerons l'application de ces cas à l'étude des effets de capacité traités par M. Kapp.

A. — *Cas particuliers de fonctionnement d'un circuit à courant alternatif possédant de la self-induction et de la capacité.*

Soit (fig. 1) le circuit *abcde* composé de la génératrice *ab*, d'une capacité *cd* et d'une self *de*. OA (fig. 2) est la force électromotrice aux bornes de la génératrice ou force électromotrice appliquée, AB la force électromotrice de capacité ou $\frac{I}{\omega C}$, BC la force électromotrice de self-induction ou ωLI et OC la force électromotrice effective ou RI, R étant la résistance ohmique du circuit *bcdea*. On sait que le courant est donné par la relation :

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \sin(\omega t - \varphi) \qquad (1)$$

Trois voltmètres placés comme l'indique la figure 1 ou un seul voltmètre relié successivement aux différents points peuvent mesurer les forces électromotrices OA = E, AB = E_c et BC = E_s.

Le cas général étant résumé, voyons la modification des valeurs relatives capable de produire, entre les bornes *e* et *d*, *d* et *c*, des différences de potentiel supérieures à celle OA créée par la génératrice, et pour laquelle le réseau est sensé calculé. Cette

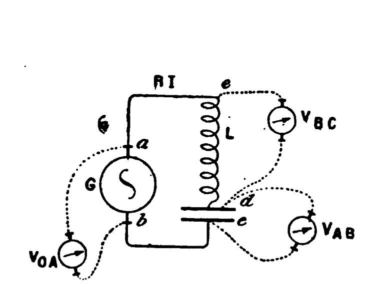


Fig. 1. — Schéma d'un circuit à résistance ohmique, self-induction et capacité.

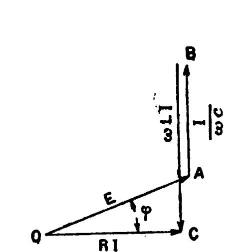


Fig. 2. — Forces électromotrices d'un circuit à résistance ohmique, self-induction et capacité.

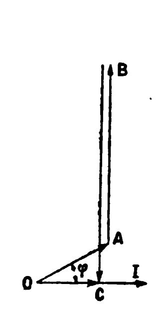


Fig. 3. — Cas particulier du tracé de la figure 2.

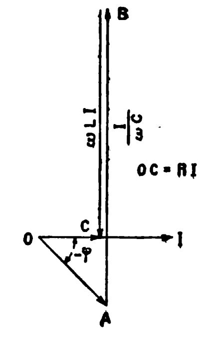


Fig. 4. — Cas particulier du tracé de la figure 2.

modification correspond à une faible résistance ohmique de la self et à une self et une capacité appropriées. Les figures 3 et 4 représentent alors les valeurs de forces électromotrices à une certaine échelle. On y voit que les différences de potentiel AB et BC peuvent être beaucoup plus fortes que OA et mettre les canalisations en danger. Comme on le voit aussi, le courant peut être en retard ou en avance sur la force électromotrice appliquée OA, selon les circonstances.

Les tracés 3 et 4 ne correspondent pas, cependant, à la réalité des faits, parce qu'il n'y est pas tenu compte des pertes par hystérésis et courants de Foucault dans la self. On sait comment on peut tenir compte de ces pertes et quelles sont les conséquences qui en résultent.

Soient O*b* = I (fig. 5) le courant total (à vide, pour un transformateur) ; O*a* = I_μ le cou-

rant de magnétisation de la self, produisant le flux Φ en phase avec I_μ ; ce dernier est le courant déwatté ou en quadrature ; $Od = I_p$ le courant watté ou en phase.

La force électromotrice de self $\omega L I_\mu$ est en retard de 90° sur I_μ et la force électromotrice de capacité en avance de 90° sur le courant total I.

Admettons que la force électromotrice de la génératrice ou OA est constante.

On voit que le tracé exact des forces électromotrices du circuit est OABCO avec AB et BC respectivement perpendiculaires à Ob et Oa ou à I et I_μ.

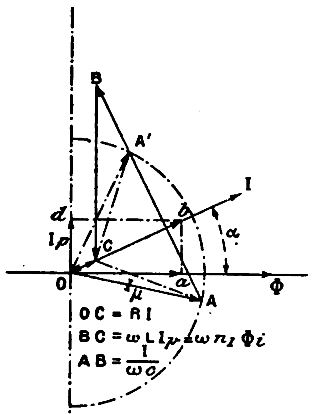


Fig 5. — Forces électromotrices d'un circuit à résistance ohmique, self-induction et capacité en tenant compte des pertes par hystérésis et courants de Foucault.

Pour I et I_μ donnés, BC est imposé et il y a deux solutions qui sont OABCO et OA'BCO et qui répondent à deux capacités différentes correspondant à

$$AB = \frac{1}{\omega C}$$

et

$$A'B = \frac{1}{\omega C'}$$

Remarquons que, dans l'application de ce qui précède aux transformateurs (le circuit de self étant le primaire ou le secondaire d'un transformateur), OC = RI varie, en charge, entre 1 et 2 p. 100 de BC normal et est négligeable, principalement à vide. Les polygones OABC et OA'BC se réduisent donc aux triangles CAB et CA'B construits avec AB et BC toujours respectivement perpendiculaires à I et I_μ.

Considérons un circuit alimenté par une génératrice donnant une force électromotrice constante OA = E (fig. 6) contenant une self-induction invariable et une capacité variable, et admettons, de plus, que l'angle A_7OA de I et I_μ (transformateur à vide ou self-induction simple) soit aussi invariable, ce qui est à peu près exact et suffisant pour cette étude.

La force électromotrice de self OB_5 dépend du courant d'aimantation seul. Elle vaut donc $\omega L I_\mu$.

Pour OB_5, il y a deux forces électromotrices de capacité $\frac{1}{\omega C}$. Ces forces électromotrices sont $A_5 B_5$ et $A_9 B_5$ et elles correspondent à des capacités C_5 et C_9.

Ces forces électromotrices étant toujours normales à I, on voit que l'on peut réaliser une échelle de force électromotrice de self et de capacité en faisant varier OB.

Si OB, partant de la valeur de zéro, croît successivement et devient OB_2, OB_3, OB_4, OB_5, etc. (fig. 6) sa valeur maximum est OB_7, pour laquelle $B_7 A_7$ est normal à OA_7.

Traçons sur la figure 7 le diagramme des forces électromotrices E_c et E de capacité et appliquées, en fonction des forces électromotrices E_s de self-induction portées verticalement.

A partir de OE_s (fig. 7), aux différents points de division de l'axe vertical, portons les valeurs de AB et de OA données par la figure 6. La valeur de OA étant invariable, on obtient d'abord la droite CE parallèle à OE_s. La courbe des valeurs de AB ou E_c fournit le tracé CDF symétrique par rapport aux axes des coordonnées. On voit que $E_c = E$ pour $E_s = 0$ ou $I_\mu = 0$; E_c et E_s sont maxima à peu près au même moment, E_c avant E_s ; enfin, E_c est nul pour $E_s = E$. Les valeurs de E_c et E_s ou I_μ sont donc réciproques.

Nous pouvons nous rendre compte aussi avantageusement des variations de la capacité C.

Des relations $E_c = \frac{1}{\omega C}$ et $E_s = \omega L I_\mu = \omega L I \cos \alpha$, on tire :

$$C = \frac{E_s}{E_c} \times \frac{1}{\omega^2 L \cos \alpha} = \frac{E_s}{E_c} \times C^{te}. \qquad (2)$$

En déterminant les quotients de E_s par E_c ou de OB par AB, on trouve la courbe OCC_2H de la figure 7 donnant les valeurs de la capacité en fonction de E_s.

La capacité est nulle pour $E_s = 0$ et E_c est alors égal à E, ce qu'on comprend facilement et ce qu'indique aussi la figure 6. La capacité croît continuellement jusque l'infini entre $E_s = 0$ et $E_s = E$ ce qui montre que, à capacité croissante, d'après la figure 7, E_c et E_s passent successivement par une valeur maximum et que, pour $C = 0$, $E_c = E$ et $E_s = 0$ et, pour $C = \infty$, $E_c = 0$ et $E_s = E$.

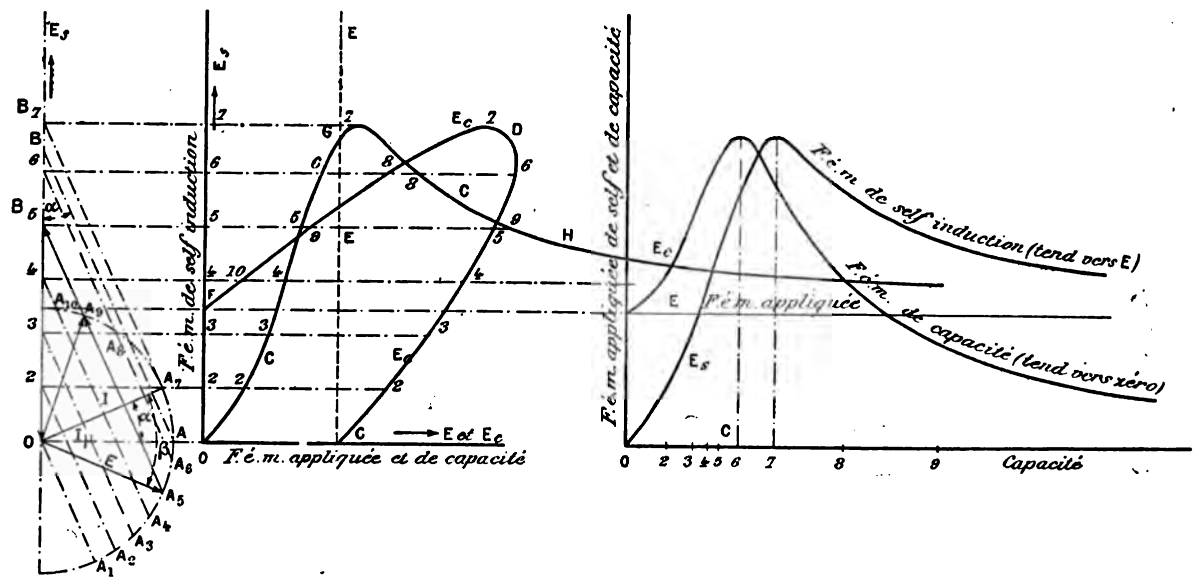


Fig. 6 à 8. — 6, Tracé de la figure 5 simplifié avec α et E constants, O B variable; 7, Diagramme des capacités et des forces électromotrices appliquée et de capacité en fonction des forces électromotrices de self OB; 8, Diagramme des forces électromotrices de self et de capacité en fonction des capacités du circuit.

La figure 8 indique tous les résultats prévus par la figure 7. Elle est obtenue en portant les capacités en abcisses et les forces électromotrices en ordonnées.

Il résulte donc de ce qui précède que : *si un circuit possède une faible résistance relative, de la self-induction constante à circuit magnétique, de la capacité variable, et qu'il est soumis à une force électromotrice invariable, les forces électromotrices de self et de capacité passent par des maxima pour des valeurs de la capacité peu différentes; ces maxima peuvent être beaucoup plus grands que la force électromotrice appliquée; ils augmentent quand l'angle du courant total et du courant d'aimantation diminue ; pour une capacité nulle la force électromotrice de self est nulle parce que le courant est nul et la force électromotrice de capacité vaut la force électromotrice appliquée; enfin, pour une capacité infinie la force électromotrice de capacité est nulle et la force électromotrice de self est égale à la force électromotrice appliquée.*

Appelons β l'angle de la force électromotrice appliquée OA avec le courant total I et α l'angle de I_μ avec I.

On démontre facilement que la force électromotrice de capacité E_c est maximum pour



$\beta = \alpha$ ou pour E en OA (fig. 6) ; la force électromotrice de self est maximum pour $\beta = o$, ou E suivant I ou en OA_7 (fig. 6) ; enfin, ces valeurs maxima sont égales et valent, d'après les triangles OAB et OA_7B_7.

$$E_c \text{ max.} = E_s \text{ max.} = \frac{E}{\sin \alpha}. \tag{3}$$

On peut calculer la valeur de la capacité correspondant au maximum de la force électromotrice E_c de capacité.

Quand (fig. 6, triangle OAB)

$$E_c = \frac{E}{\sin \alpha}, \tag{4}$$

$$E_s = \frac{E}{\operatorname{tg} \alpha} \tag{5}$$

d'où

$$E = E_c \sin \alpha = E_s \operatorname{tg} \alpha.$$

En remplaçant E_c par $\frac{I}{\omega C}$ et E_s par $\omega LI \cos \alpha$, il vient, après réduction :

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}. \tag{6}$$

et

$$C = \frac{1}{\omega^2 L}. \tag{7}$$

C'est la condition connue de l'équivalence de la self-induction et de la capacité.

Nous vérifierons plus loin ces relations que nous venons de déterminer à l'aide des exemples pratiques traités par Kapp dans son article cité ci-dessus.

Les valeurs des forces électromotrices des figures 6, 7 et 8 qu'il est intéressant de connaître sont les maxima parce qu'elles soumettent les isolants à des différences de potentiel imprévues. Il est donc indispensable de savoir comment varient ces maxima. Les figures 5 et 6 et la formule (3) sont très expressives sous ce rapport.

Si l'angle de décalage α *de* I_μ *et* I *augmente*, E_c *et* E_s *diminuent et deviendraient égaux à* E *à la limite. Si le même angle diminue*, E_c *et* E_s *augmentent et leur limite théorique maximum est l'infini.*

Ainsi, par exemple, si la self-induction est donnée par le primaire d'un transformateur à vide pour lequel on a ;

$$\frac{I_\mu}{I} = 0{,}4, \quad \alpha = 22^\circ \quad \sin \alpha = 0{,}375,$$

il vient :

$$E_c \text{ max} = \frac{E}{\sin \alpha} = 2{,}67 \text{ E}.$$

Si E = 3 000 volts, tension de la génératrice, E_c = 8 000 volts.

Voyons maintenant, d'après Kapp, dans quelles conditions de fonctionnement d'une distribution à câbles armés concentriques, on peut appliquer les résultats théoriques qui précèdent.

B. — *Application au fonctionnement d'une dérivation simple d'un réseau primaire à haute tension quand le conducteur extérieur du câble concentrique est coupé à son extrémité, avant le fil intérieur, le transformateur marchant à vide ou à charge infinitésimale.*



La figure 9 représente les barres du tableau de distribution en B_1 et B_2 ; la ligne principale formée du conducteur intérieur *ab* et du conducteur extérieur *fh* du câble concentrique ; la dérivation *bcdf* et le transformateur T dont le secondaire S est ouvert.

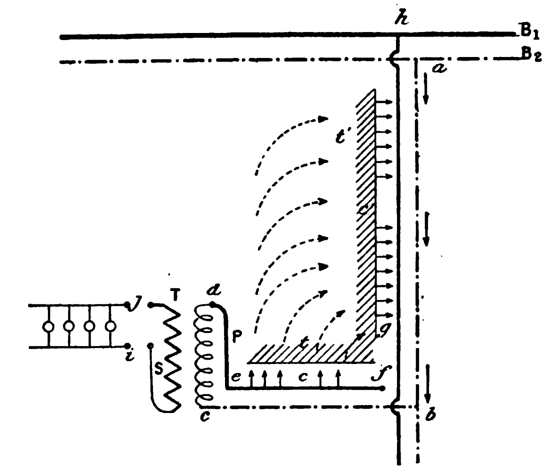


Fig. 9. — Schéma de la circulation du courant dans une dérivation simple du réseau à câble concentrique, le conducteur extérieur étant interrompu en *f*.

Supposons que, par fusion d'un plomb de sûreté ou par une fausse manœuvre, le fil extérieur soit interrompu en *f*. Le circuit *abcdfh* est bien interrompu, mais, comme la terre, en communication avec la gaine de plomb du câble armé concentrique, joue le rôle de seconde armature de condensateur par rapport au conducteur extérieur, le courant continue à passer par le conducteur intérieur *abc*, le primaire P du transformateur, le conducteur extérieur de dérivation *ef*, la terre par la capacité C de *ef* et enfin le fil extérieur de ligne *fh* par la capacité C′ de ce dernier.

Les capacités C et C′, étant couplées en série dans l'espèce, peuvent être remplacées par une seule capacité égale à l'inverse de la somme des inverses des capacités individuelles, c'est-à-dire à

$$\frac{CC'}{C+C'}.$$

La capacité de la dérivation C étant très petite par rapport à celle des conducteurs extérieurs de ligne qui sont toujours très étendus, C est négligeable devant C′ au dénominateur et il reste la capacité C après simplification (voir travail de M. Kapp).

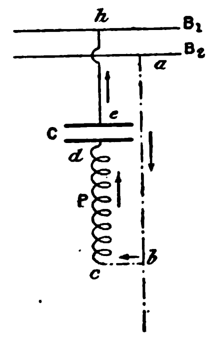


Fig. 10. — Schéma de la figure 9 simplifié.

En d'autres termes, C′ joue le rôle de court-circuit par rapport à C, ce qui permet de tracer le schéma de la figure 10 pour remplacer celui de la figure 9 qui est un peu compliqué.

Ce schéma montre que *l'étude du fonctionnement du circuit revient à celle qui est traitée dans les préliminaires*.

Cela établi, déterminons les données de calcul de l'exemple indiqué par M. Kapp.

Ce dernier a déterminé, pour un transformateur de 20 kilowatts alimenté sous 3 000 volts à la fréquence 45, en marche normale, et donnant lieu à une perte de 300 watts dans le fer à vide, avec un courant I égal à 3 1/2 p. 100 du courant de charge, quelles sont les courbes des courants watté I_p, déwatté I_μ, total I à vide et des pertes dans le fer en fonction de la tension appliquée aux bornes. Il a trouvé les courbes de la figure 1, p. 94 du journal du 21 avril auxquelles nous ajouterons par la pensée les courbes des sinus et des tangentes des angles α formés par I_p et I_μ.

M. Kapp, en appliquant le tracé de la figure 6 à chaque courant total à vide donné par la figure 1 de la page 94 en tenant compte de la variation de l'angle α et sous 3 000 volts constants aux barres du tableau de distribution, a trouvé les courbes de la figure 3 de la page 94 qui représentent les tensions aux bornes du transformateur et aux armatures du condensateur, c'est-à-dire entre le conducteur extérieur du câble armé et la gaine de plomb.

La méthode suivie est ainsi assez longue, mais avantageuse pour le tracé de courbes complètes.

Voici comment on peut se passer de tracés graphiques au moyen des formules de nos préliminaires si l'on veut seulement les chiffres principaux.

Sous le voltage normal de 3 000 volts aux bornes du transformateur, le courant déwatté ou d'aimantation est sensiblement de 0,2 ampère et le coefficient de self-induction de

$$L = \frac{3\,000}{\omega I_\mu} = \frac{3\,000}{282 \times 0,2} = 53,2.$$

La formule (7) donne la capacité procurant la tension maximum entre le conducteur extérieur et le plomb.

On trouve :

$$C = \frac{1}{\omega^2 L} = \frac{1}{282^2 \times 53,2} = 0,237 \times 10^{-6} = 0,237 \text{ microfarad.}$$

C'est très sensiblement le résultat trouvé graphiquement par Kapp.

Pour déterminer la tension maximum, on peut opérer de la manière suivante :

Pour 3 000 volts aux bornes du transformateur (fig. 1, p. 94),

$$I_\mu\, I_n = 0,2, \quad I_p = I_f = 0,1$$

et

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{0,1}{0,2} = 0,5.$$

Approximativement (formule 5) :

$$E_c \text{ max.} = \frac{E}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{3\,000}{0,50} = 6\,000 \text{ volts environ.}$$

Or, pour 6 000 volts aux bornes du transformateur (fig. 1, p. 94),

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,41 \quad \text{et} \quad \sin \alpha = 0,372.$$

La tension maximum entre le conducteur extérieur et le plomb est donc approximativement de

$$E_e \text{ max.} = \frac{E}{\sin \alpha} = \frac{3\,000}{0,372} = 8\,060 \text{ volts,}$$

M. Kapp trouve 8 200 à 8 300.

Mais on pourrait continuer le tâtonnement en prenant maintenant sin α correspondant à $\frac{3\,000}{0,41} = 7\,300$. Il vient :

$$E_c = \frac{3\,000}{0,358} = 8\,350 \text{ volts.}$$

Mais la première approximation était très suffisante dans l'espèce.

Les résultats les plus intéressants de ces calculs sont ceux-ci :

1° *La tension maximum est donnée par la relation*

$$E_c = \frac{E}{\sin \alpha} = \frac{\text{tension de distribution}}{\sin \alpha}.$$

Elle vaut à peu près $\frac{1}{\sin \alpha}$ *fois la tension normale de distribution.*

Étant inversement proportionnelle à sin α, *elle est d'autant plus forte que les pertes dans le fer sont plus faibles et le circuit magnétique plus résistant.*



2° *La capacité dangereuse* correspond à la condition d'équilibre des forces électromotrices de self et de capacité. Elle est donnée par la formule connue :

$$C = \frac{1}{\omega^2 L}.$$

C. — *Fonctionnement d'un transformateur dont le secondaire est en court-circuit sur une capacité constante et le primaire alimenté sous potentiel invariable.*

Nous admettrons que les courants primaire et secondaire sont opposés en phase et donnent lieu à une perte ohmique totale de 1,50 p. 100 en marche normale ; les forces électromotrices de dispersion sont de 4 p. 100 de la tension normale et en retard de 90° sur les courants ; les pertes dans le fer sont relativement négligeables ; la résistance des circuits du transformateur et l'inductance de dispersion sont en raison inverse de la puissance. En particulier, on a, *pour le transformateur de 20 kilowatts sous 3 000 volts :*

Courant normal efficace

$$I = \frac{20\,000}{3\,000} = 6{,}7 \text{ ampères ;}$$

$$R = \frac{3\,000 \times 1{,}5}{100 \times 6{,}7} = 6{,}7 \text{ ohms ;}$$

$$\omega l = \frac{3\,000 \times 4}{100 \times 6{,}7} = 18,$$

l étant *la self-induction de dispersion pour un transformateur de puissance* P *kilowatts.*

$$R = \frac{134}{P} \tag{8}$$

$$\omega l = \frac{360}{P} \tag{9}$$

Le triangle OAB de la figure 11 représente les *forces électromotrices intérieures* du transformateur en court-circuit sur la capacité. OB ou E_i est la force électromotrice totale intérieure, AB ou $E_s = \omega l I$ la force électromotrice de self-induction de dispersion et OA = RI la force électromotrice effective totale.

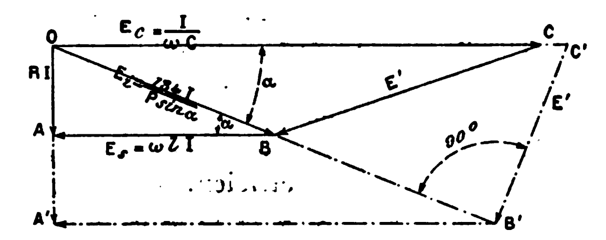


Fig. 11. — Forces électromotrices du secondaire d'un transformateur en court-circuit dans une capacité et dont le primaire est alimenté à tension constante.

La force électromotrice de capacité est en avance de 90° sur le courant I et elle vaut $\frac{I}{\omega C}$, ω étant la vitesse angulaire correspondant à la fréquence 45, ou 282 et C la capacité de tout un réseau que nous évaluerons à 100 microfarads, par exemple. Cette force électromotrice peut donc être représentée par OC.

Enfin, la force électromotrice d'induction due au flux du transformateur est CB. C est la force électromotrice appliquée ou E′.

Le polygone des forces électromotrices est finalement OCBAO.

Le triangle OAB et les relations (8) et (9) donnent, en appelant α les angles ABO et BOC :

$$E_i = \frac{RI}{\sin \alpha} = \frac{134\,I}{P \sin \alpha} \tag{10}$$

On a aussi :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{RI}{\omega l I} = \frac{1\,1/2 \text{ p. } 100}{4 \text{ p. } 100} = 0{,}375, \quad \alpha = 20^\circ\,30'.$$

et

$$\sin \alpha = 0{,}35.$$

La valeur de E' est la tension constante au primaire. BC étant constant, on voit par la figure que la tension de capacité OC sera maximum quand BC sera perpendiculaire à OB, en C'B'. Le polygone deviendra alors OC'B'A'O et on aura :

$$E_c \text{ max.} = \frac{E'}{\sin \alpha} = \frac{I'}{\omega C}. \qquad (11)$$

$$E_i = \frac{E'}{tg\, \alpha} = \frac{134\, I'}{P' \sin \alpha}. \qquad (12)$$

d'où

$$I = \frac{\omega C E'}{\sin \alpha}. \qquad (13)$$

et

$$P' = \frac{134\, I' \operatorname{tg} \alpha}{E' \sin \alpha} = 2\, \frac{134\, \omega C}{\sin 2\alpha}. \qquad (14)$$

En faisant $E' = 3\,000$ volts, on trouve au moyen des formules

$$E_c \text{ max.} = \frac{3\,000}{0{,}35} = 8\,000 \text{ volts ;}$$

$$I' \text{ max.} = \frac{282 \times 100 \times 10^{-6} \times 3\,000}{0{,}35} = 225 \text{ ampères ;}$$

$$P \text{ donnant } E_c \text{ max.} = 2 \times \frac{134 \times 282 \times 100 \times 10^{-6}}{\sin 41°} = 11{,}5 \text{ kilowatts.}$$

D. — *Application au fonctionnement d'un réseau primaire en câbles concentriques dont le conducteur est mis à la terre.*

Le schéma de cet accident est dessiné sur la figure 6 de la page 96 du tome XXIII. Il se confond avec l'objet du paragraphe C qui précède, parce que le primaire P est aussi en court-circuit sur la capacité totale du conducteur extérieur du réseau primaire et que le secondaire S est soumis au voltage constant du réseau secondaire.

L'exemple que nous venons de traiter avec les données de M. Kapp donne 8 000 volts et 11,5 kilowatts pour tension et puissance dangereuses. Ce sont sensiblement les chiffres trouvés par le savant électricien.

Les tensions notamment eussent été égales si nous avions tenu compte d'une réduction du voltage de 3 000 volts par perte ohmique dans le réseau secondaire.

Les formules (10) à (13) que nous avons déterminées indiquent des conséquences nouvelles :

1° La relation

$$E_c \text{ max.} = \frac{E}{\sin \alpha}.$$

est semblable à la relation (4). Elle montre aussi que *l'accident produit une tension égale à* $\frac{1}{\sin \alpha}$ *fois la tension normale et que cette tension est d'autant plus grande que la perte ohmique intérieure est plus faible et la dispersion magnétique plus forte.*

Pour les couples de valeurs suivantes : 1,50 et 2 p. 100, 1 et 6 p. 100, on trouve respectivement pour E_c : 5 000 et 18 200 volts.

2° La formule

$$I' = \frac{\omega C E'}{\sin \alpha}.$$



prouve que le *courant de court-circuit croît proportionnellement à la capacité du réseau* ; or, ce courant réagit sur le réseau secondaire.

3° Enfin la formule

$$P' = 2\,\frac{134\,\omega C}{\sin 2\alpha}.$$

établit que *les puissances de transformateurs qui sont dangereuses sont proportionnelles à la capacité et que, par conséquent, ces puissances varient constamment avec l'extension du réseau. Ces transformateurs doivent donc être étudiés pour le réseau final.*

M. Kapp détermine les courbes de la figure 8 de la page 98 en se servant du triangle OBC de la figure 9 ci-dessus et en opérant un tracé préparatoire pour chaque puissance P de transformateur considérée. Il se donne un courant I et une puissance P ; il trace le triangle connaissant les côtés OC et OB pour $\omega = 282$, $C = 100 \times 10^{-6}$ et $\sin\alpha = 0{,}35$; il en résulte une certaine valeur pour BC et, comme cette valeur devrait être sensiblement celle de distribution ou 3 000 volts, il multiplie OC et OB par le rapport $\frac{3\,000}{BC}$.

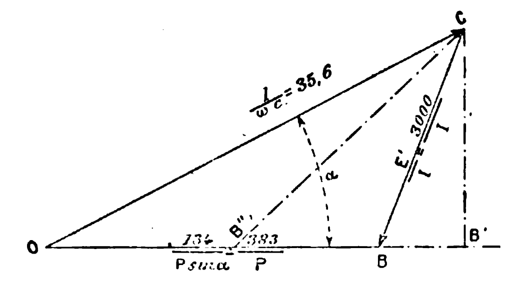


Fig. 12. — Tracé simplifié de la figure 11.

Nous préférerions nous servir du tracé graphique comme ci-dessous.

On divise par I les côtés du triangle OBC de la figure 9. Nous obtenons ainsi la figure 12.

On se donne alors les puissances de 0, 10, 20, 30, 40 et 50 kilowatts; on calcule OB dans chaque cas et, puisque OC est une constante, on obtient les côtés BC, d'où $I = \frac{3\,000}{BC}$ et, pour chaque cas :

$$E_c = 35{,}6 \times I \text{ et } E_i = OB \times I.$$

On voit que :

Pour une puissance nulle, $BC = \infty$, $I = 0$ et $E_c = E_i = 0$;

Pour une puissance infinie, $BC = E' = OC = \frac{1}{\omega C}$, $I = \omega C E'$,

$$E_c = \frac{I}{\omega C} = \frac{\omega C E'}{\omega C} = E'.$$

et

$$E_i = 0.$$

La courbe des tensions, entre le conducteur extérieur et l'enveloppe de plomb, part donc bien de l'origine, passe par un maximum quand I est maximum et CB minimum (en CB′) et tend vers la tension normale de 3 000 volts pour une puissance infinie (voir fig. 8, p. 98).

On peut se demander aussi comment varie la tension E_c quand la capacité du réseau est variable et la puissance du transformateur constante.

On fait alors OB (fig. 10) constant et on prend OC variable en se donnant des capacités de 0, 20, 40, 60.... microfarads ; on obtient ainsi les valeurs correspondantes de BC ou $\frac{3\,000}{I}$ qui donnent I et permettent de calculer E_c par la relation

$$E_c = \frac{I}{\omega C} = 35{,}6\ I.$$

Pour une capacité infinie :

$$OC = o, \; BC = \frac{E'}{I} = \frac{134}{P \sin \alpha},$$

$$I = \frac{E' P \sin \alpha}{134} = \frac{E'}{R} \sin \alpha.$$

et

$$E_c = \frac{1}{\omega C} = o.$$

Tout se passe en effet comme s'il y avait court-circuit direct :

Pour une capacité nulle :

$$C = o, \; \frac{1}{\omega C} = \infty,$$

$$BC = E' = \infty :$$

d'où

$$I = o.$$

Enfin, on comprend que la tension normale de 3 000 transmet entre la terre et le conducteur extérieur, le primaire P fonctionnant comme un secondaire à circuit ouvert.

S. HANAPPE.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

MOTEURS

Calcul des moteurs asynchromes, par **J. Fischer-Hinnen**. *Zeitschrift für Electrotecknik*, t. XVIII, p. 381 et 397, 5 et 12 août 1900, suite de la p. 402 de ce tome.

II. — FONCTIONNEMENT DES MOTEURS.

1. COEFFICIENT DE DISPERSION. — Le coefficient de dispersion σ n'est pas constant et dépend beaucoup de la saturation du fer. Mais s'il est déjà difficile de calculer ce coefficient à vide, il est tout à fait impossible de déterminer a priori les variations de σ avec la charge. Suivant la forme des tôles et la saturation des dents, le coefficient peut augmenter ou diminuer avec la charge. Ordinairement, la dispersion ne diminue que jusqu'au point qui correspond à la pleine charge et est maximum pour le démarrage sans résistance. Cela tient à ce que Φ_a est assez petit au moment du démarrage ; la réluctance du champ de dispersion diminue donc plus rapidement que celle du champ principal. Par rapport à la marche à vide, le coefficient de dispersion au démarrage est plus élevé de 50 à 100 p. 100.

Pour tenir compte de ces différences, nous désignerons par :

σ' le coefficient qui correspond à la charge normale ;

σ'' le coefficient qui correspond au démarrage ;

σ''' le coefficient qui correspond à la charge maxima.

Il est facile de déterminer par expérience les variations de σ. Par exemple pour étudier la marche à vide, on relie successivement les enroulements inducteurs et induits à la ligne et on mesure la tension primaire et secondaire à circuit secondaire ouvert. Désignons, dans le premier essai, par E_1 la tension primaire et par E_2 la tension secondaire ; dans le deuxième essai, soit E'_2 la tension primaire et E'_1 la tension secondaire. Nous avons

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{N_2 K_2 m_1 q_1}{N_1 K_1 m_2 q_2} \frac{1}{\nu_1},$$

$$\frac{E_1'}{E_2'} = \frac{N_1 K_1 m_2 q_2}{N_2 K_2 m_1 q_1} \frac{1}{\nu_2},$$

d'où

$$\frac{E_2 E_1'}{E_1 E_2'} = \frac{1}{\nu_1 \nu_2}$$

d'où on déduit

$$\sigma = 1 - \frac{E_2 E_1'}{E_1 E_2'}.$$

Cette méthode sert pour la marche à vide. Pour mesurer σ en charge, on procédera ainsi. On relie successivement les enroulements inducteurs et induits à la ligne, l'enroulement étant en court-circuit, et on mesure les intensités primaires et secondaires.

L'armature doit être maintenue immobile et on réduit la tension primaire de telle sorte qu'elle donne l'intensité primaire normale. Désignons encore par J_1 et J_2 les intensités dans le primaire et le secondaire pour le premier essai et par J'_1 et J'_2 les intensités pour le second. On a

$$\frac{J_2}{J_1} = \frac{k_1 k'_1 q_2 N_1}{k_2 k'_2 q_1 N_2} \frac{1}{\nu_2}$$

$$\frac{J_1'}{J_2'} = \frac{k_2 k'_2 q_1 N_2}{k_1 k'_1 q_2 N_1} \frac{1}{\nu_1}$$

$$\frac{J_2 J_1'}{J_1 J_2'} = \frac{1}{\nu_1 \nu_2} \text{ d'où } \sigma = 1 - \frac{J_2 J_1'}{J_1 J_2'}$$

2. Courant d'excitation. — Le courant d'excitation i_0 dépend également du coefficient de dispersion, mais dans une mesure bien moindre, de sorte que nous pouvons, sans erreur sensible, le considérer comme constant.

3. Pertes par frottements. — Les pertes par frottements des moteurs asynchrones sont, en général, plus grandes qu'on n'est tenté de le croire. Cela tient à la petitesse de l'entrefer et aux fortes attractions magnétiques dues aux moindres irrégularités. Le tableau IX donne les valeurs de $1 - z$.

Tableau IX. — *Valeurs approchées du rendement mécanique* $(1 - z)$.

PS	10	25	50	100	150
Marche à vide. .	0,94	0,95	0,96	0,97	0,97
Marche normale .	0,92	0,93	0,94	0,94	0,95
Démarrage . . .	0,82	0,85	0,88	0,90	0,92

4. Couple. — Proposons-nous de déterminer les valeurs du couple pour tous les glissements depuis $g = 0$ jusqu'à $g = 1$. Nous considérerons un moteur pour lequel on a

$$\cos \varphi = 0{,}86 \text{ à pleine charge. } \sigma = 0{,}08\,;\ \varepsilon = 0{,}025\,;$$
$$\varepsilon' = 0{,}025\,;\ 1 - z = 0{,}93\,;\ \zeta = 0{,}86.$$

Il s'agit tout d'abord de déterminer y, car cette grandeur intervient dans tous les calculs. Cette détermination n'a pas besoin d'être très exacte, car lorsque y est supérieur à 50, ce qui a presque toujours lieu, les autres valeurs ne sont que peu influencées. On a vu que

$$y = \frac{\omega_1 L_1}{R_1} = \frac{\omega_1 L_1 J_1}{R_1 J_1} = \frac{1}{\varepsilon} \frac{J_1}{i_0}.$$

Dans les machines exécutées, les valeurs de $\frac{i_0}{J_1}$ sont environ celles du tableau X. Pour $\zeta = 0{,}86$ et $\cos \varphi = 0{,}86$, on aurait

$$\frac{i_0}{J} = 0{,}45\,,\ \frac{i_0}{J_1} = 0{,}333.$$

d'où

$$y = \frac{1}{0{,}025} \times \frac{1}{0{,}333} = 120,$$

100 en chiffres ronds.

Nous pouvons en déduire x' avec assez de précision.

$$\sqrt{\frac{x^2}{1+x^2}\ \frac{1 - \sigma(1-\sigma)^2}{A}} = (1-\varepsilon)(1-\varepsilon')\cos\varphi$$
$$= 0{,}975.\ 0{,}975.\ 0{,}86 = 0{,}817.$$

Le tableau VI nous donne pour $y = 100$ et $\sigma = 0{,}08$

$$x' = 2{,}4.$$

Nous pouvons alors déterminer la courbe des couples pour tous les glissements, il suffit pour cela de calculer $\frac{1-\sigma}{A}$ car les autres grandeurs sont sensiblement constantes. Cette expression peut se déduire du tableau V pour toutes les charges que l'on considère dans la pratique.

Dans les démarrages sans résistance, on a

$$x'' = \frac{x'}{g} = \frac{2{,}4}{0{,}03} = 80.$$

σ' est alors égal à 0,14. La figure 16 représente la courbe.

Pour que le moteur puisse démarrer, il faut que le couple résistant sur la poulie soit moindre que le couple ac (fig. 16). Alors la vitesse croît rapidement jusqu'à ce que le couple, après avoir passé par un maximum, reprenne une valeur égale à celle du couple résistant. La marche du moteur n'est stable qu'après le maximum, c'est-à-dire dans une région telle que, pour une augmentation de la vitesse, le couple diminue. La figure 16 et le tableau V montrent que le couple varie à peu près proportionnellement au glissement tant que σ ne dépasse pas les valeurs 0,06 et 0,1.

Tableau X. — *Valeurs approchées de* $\frac{i^0}{J_1}$ et $\frac{i_0}{I}$.

Rendement		0,7	0,75	0,8	0,82	0,84	0,86	0,88	0,90	0,92
σ		0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09
cos φ =	0,7	0,658 1,343	0,655 1,248	0,651 1,162	0,648 1,130	0,645 1,097	0,642 1,065	0,638 1,037	0,634 1,007	0,630 0,978
	0,75	0,601 1,144	0,597 1,060	0,587 0,979	0,581 0,944	0,575 0,913	0,569 0,883	0,563 0,853	0,556 0,823	0,550 0,797
	0,8	0,530 0,947	0,521 0,868	0,506 0,790	0,497 0,758	0,487 0,724	0,475 0,691	0,462 0,655	0,448 0,623	0,435 0,591
	0,82	0,490 0,853	0,480 0,781	0,460 0,702	0,450 0,670	0,438 0,638	0,425 0,603	0,410 0,568	0,394 0,533	0,375 0,497
	0,84	0,445 0,757	0,436 0,692	0,415 0,618	0,403 0,586	0,390 0,553	0,375 0,518	0,357 0,482	0,338 0,447	0,317 0,410
	0,86	0,400 0,665	0,390 0,605	0,370 0,538	0,360 0,511	0,348 0,481	0,333 0,450	0,316 0,417	0,297 0,384	— —
	0,88	0,364 0,592	0,354 0,537	0,335 0,476	0,325 0,450	0,313 0,423	0,298 0,394	0,284 0,367	— —	— —
	0,90	0,330 0,524	0,321 0,475	0,305 0,424	0,296 0,401	0,285 0,377	0,270 0,348	— —	— —	— —
	0,92	0,300 0,466	0,293 0,424	0,280 0,380	0,270 0,358	0,260 0,336	— —	— —	— —	— —

Valeur du couple lors d'un démarrage sans résistance. — Il est facile de voir que l'on a [1]

$$\frac{\text{Couple de démarrage}}{\text{Couple normal}} = \text{environ } 0{,}8\, g' \left(\frac{i_0}{I'}\right)^2 \frac{(1-\sigma')(1-\sigma'')}{\sigma''^2}(1-z')(1-z'')(1-g')^2.$$

Pour le moteur que nous considérons, on a

$1-\sigma' = 0{,}92$; $1-\sigma'' = 0{,}86$; $\sigma'' = 0{,}14$; $1-z' = 0{,}93$; $1-z'' = 0{,}85$; $1-g' = 0{,}97$.

d'où

$$\frac{\text{Couple démarrage}}{\text{Couple normal}} = 0{,}212.$$

Le calcul rigoureux donne 0,218.

Ce couple n'est pas très grand ; si l'on voulait avoir un grand couple de démarrage sans se servir de bagues de contact, il faudrait augmenter le glissement et le rapport $\frac{i_0}{I}$. Pour $g = 0{,}07$ et $\frac{i_0}{I} = 0{,}6$, le couple de démarrage est les

---

(1) En effet, si dans l'expression du couple nous remplaçons successivement x par x'' et x' on trouve

$$\frac{\text{Couple au démarrage}}{\text{Couple normal}} = \frac{1}{g'}\frac{(1-\sigma'')}{(1-\sigma')}\frac{(1-z'')}{(1-z')}\frac{A}{\left(\frac{x'\sigma''}{g'}\right)^2 + \left(1+\frac{x'}{g'y}\right)^2}$$

d'où en remplaçant A par sa valeur et $\frac{x'}{g'y} = \frac{x''}{y}$ par leur valeur approximative 0,73.

$$\frac{\text{Couple au démarrage}}{\text{Couple normal}} = g'\frac{i_0}{I}(1-\sigma'')(1-z'')$$

$$(1-g')\frac{1}{x'\sigma''^2 + \frac{3g'^2}{x'}} = 0{,}9\, g\frac{i_0}{I}\frac{1-\sigma''}{\sigma''^2}(1-z'')$$

$$(1-g')\frac{1}{x'}.$$

Or $\frac{1}{x'} = \frac{R_2}{\omega_2 L_2} = \frac{R_2}{g'\omega_1 L_2}$. On voit que le couple est d'autant plus grand que la résistance de l'armature est plus élevée. Si on admet pour A la valeur 1,12, on tombe sur la valeur énoncée pour le rapport $\frac{\text{C. démarrage}}{\text{C. normal}}$.

44 p. 100 du couple normal. Nous voyons que le rendement et le facteur de puissance en sont diminués.

Couple maximum.— Pour déterminer la valeur maxima du couple, nous annulerons la dérivée. On a

$$x''' = \sqrt{\frac{\sigma'''^2 + \frac{1}{y^2}}{1 + \frac{1}{y^2}}} = \text{environ } \frac{1}{\sqrt{\sigma'''^2 + \frac{1}{y^2}}}.$$

Si y est supérieur à 35 ou 40, ce qui est presque toujours le cas, on peut négliger $\frac{1}{y^2}$ devant σ'''^2 et on trouve simplement

$$x''' = \frac{1}{\sigma'''}.$$

On a alors

$$\frac{Z_{max}}{Z_{normal}} = \frac{i_0 (1 - \sigma''') (1 - \varepsilon''') (1 - g')}{I' \sigma''' \left[1 + \left(1 + \frac{1}{\sigma''' y} \right)^2 \right]} = \frac{i_0}{I'} a$$

(voir Tableau XI)

Si on a

$$1 - \varepsilon''' = 0{,}9 ; \quad 1 - g' = 0{,}96 ; \quad \sigma''' y = 6$$

l'on a approximativement

$$\frac{Z_{max}}{Z_{normal}} = 0{,}36 \frac{i_0}{I'} \frac{1 - \sigma'''}{\sigma'''}.$$

Mais ceci n'est qu'approximatif et l'égalité précédente résout mieux la question à l'aide du tableau XI, dans lequel on a fait

$$(1 - g)(1 - \sigma''') = 0{,}86.$$

Tableau XI. — *Valeurs de a.*

σ'''	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,12	0,14
$y =$ 20	3,53	3,24	3,06	2,88	2,68	2,52	2,37	2,08	1,85
35	5,44	4,66	4,18	3,80	3,45	3,15	2,90	2,47	2,14
50	6,59	5,47	4,80	4,28	3,82	3,50	3,16	2,64	2,27
75	7,73	6,23	5,34	4,69	4,15	3,72	3,38	2,80	2,38
100	8,36	6,64	5,65	4,94	4,34	3,86	3,48	2,88	2,44
150	9,07	7,10	6 »	5,10	4,50	4,01	3,60	2,95	2,50

Dans notre exemple $\sigma' = 0{,}08$; $\sigma''' = 0{,}06$; le tableau XI nous donne $A = 5{,}65$ et nous aurons

$$\frac{Z_{max}}{Z_{normal}} = 3{,}07.$$

Le moteur ne se décrochera que pour un couple triple du couple normal. Si $y = 35$, le moteur se décrocherait pour un couple $= 2{,}27$ fois le couple normal [1].

Démarrage avec résistances dans le secondaire. — Nous avons vu que

$$x = \frac{g \omega_1 L_2}{R_2}.$$

Ce rapport ne varie pas si on multiplie les deux termes par un même nombre.

Autrement dit : si on triple par exemple la résistance de l'induit au moyen d'une résistance additionnelle, on obtient la même valeur pour x et par suite les mêmes couple, intensité et décalage en triplant le glissement. Pour obtenir les courbes correspondant à ce nouveau cas, il suffit donc de multiplier les abcisses de la courbe primitive par 3 (fig. 16).

Soit g le glissement du moteur pour le couple normal, l'induit étant en court-circuit; r la résistance à mettre en série avec l'armature pour que le moteur démarre avec le couple normal.

---

(1) A titre de comparaison, nous examinerons un moteur à forte dispersion.

Supposons

$$\sigma''' = 0{,}12 ; \ \sigma' = 0{,}14 ; \ y = 100 ; \ \varepsilon = 0{,}028 ; \ \varepsilon' = 0{,}022 ;$$
$$1 - \varepsilon' = 0{,}93 ; \ g = 0{,}03 ; \ \cos\varphi = 0{,}78$$

Il s'agit de déterminer la valeur de x qui nous permettra de calculer $\frac{i_0}{I}$. On a

$$(1 - \sigma')\sqrt{\frac{x^2}{1 + x^2}} \frac{1}{A} = (1 - \varepsilon)(1 - \varepsilon') \cos\varphi = 0{,}79.$$

Le tableau VI nous donne $x = 2{,}6$ et le tableau V nous donne pour cette valeur de x, $\sigma' = 0{,}14$ et $y = 100$. Donc

$$\frac{(1 - \sigma) x}{A} = 1{,}9$$

et

$$\frac{i_0}{I} = \frac{1}{1{,}9 . 0{,}93 . 0{,}97} = 0{,}573.$$

Le moteur se décrochera donc pour un couple égal à $2{,}88 . 0{,}573 = 1{,}68$ fois le couple normal, ce qui est inadmissible. La seule manière de donner de la stabilité à ce moteur consiste à augmenter le courant à vide, mais on diminuerait ainsi le facteur de puissance déjà faible. — On voit ainsi qu'elle est l'influence du coefficient de dispersion sur la stabilité du moteur. Plus le facteur de puissance est élevé et moins le moteur présente de sécurité au point de vue des surcharges. Mais on peut dire qu'un moteur dont le coefficient de dispersion est supérieur à 0,12 ne peut être utilisé en pratique.

D'après la figure 17, on a

$$\frac{r+R_2}{R_2}=\frac{1}{g} \text{ ou } r=R_2\left(\frac{1}{g}-1\right)$$

La figure 17 montre que l'on obtient le même

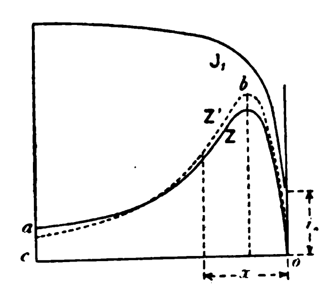


Fig. 16.

couple par deux glissements différents g et g_0; le premier correspond à la partie ascendante de la courbe, le second à la partie descendante. Comme dans le premier cas, la résistance est plus faible, on aurait intérêt à démarrer avec la

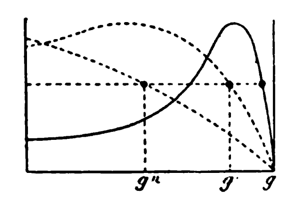


Fig. 17.

résistance la plus petite, et cela d'autant plus que le couple commence par augmenter. Mais il ne faut pas oublier que le courant de démarrage est alors bien plus élevé. Le démarrage sur la partie ascendante de la courbe n'est donc indiqué que pour les petits moteurs où on veut démarrer avec une seule résistance non subdivisée. Si on démarre dans la partie descendante de la courbe, le couple doit être plus élevé que le couple final. L'intensité au démarrage peut différer très peu de l'intensité normale.

La division du rhéostat de démarrage peut se faire d'après la méthode de Görges, à laquelle nous renvoyons nos lecteurs [1].

Le démarrage peut aussi se faire automatiquement d'après le procédé présenté par l'auteur. Ce procédé a été décrit par M. J. Guillaume dans un des derniers numéros de *L'Éclairage Électrique* [1].

(1) *Electrotechnische Zeitschrift*, 22 novembre 1894.

Réglage de la vitesse au moyen de résistances intercalées dans le secondaire. — Si nous désignons par g le glissement en court-circuit, par g' le glissement avec résistance intercalée, par v et v' les vitesses correspondantes, on a

$$\frac{v'}{v}=\frac{1-g'}{1-g}.$$

Or

$$\frac{g'}{g}=\frac{R_2+r}{R_2}.$$

Donc, pour obtenir une vitesse v', il faut introduire une résistance

$$r=R_2\left(\frac{1-g}{g}\right)\left(1-\frac{v'}{v}\right).$$

5. Facteur de puissance ($\cos\varphi$). — La courbe représentant les valeur de $\cos\varphi$, en fonction de x, commence par monter rapidement, puis redescend très lentement après avoir atteint un maximum. Cette circonstance permet de simplifier le calcul du maximum de $\cos\varphi$. Si, en effet, on différentie l'équation (33), on trouve

$$x^4\left(\sigma^2+\frac{1}{y^2}\right)+x^3\frac{1-\sigma}{y}-x\frac{1-\sigma}{y}=1+\frac{1}{y^2}$$

équation du 4ème degré. Si on suppose que $\frac{1}{g}$ est voisin de 0, on trouve simplement $x=\frac{1}{\sqrt{\sigma}}$, valeur supérieure de x, mais suffisamment approchée pour le calcul de $\cos\varphi$. Portant dans l'équation (33), on a

$$\cos\varphi_{max}=\frac{1-\sigma}{1+\sigma}\cdot\frac{0{,}96}{(1-\varepsilon)(1-\varepsilon')} \qquad \text{(A)}$$

Si nous prenons

$$\cos\varphi_{max}=\frac{C}{(1-\varepsilon)(1-\varepsilon')}$$

on peut déduire les valeurs de C et les valeurs correspondantes de x du tableau suivant [2].

(1) *Éclairage Électrique*, t. XXIV, p. 131, 28 juillet 1900.

(2) Exemple. — Quelle est la valeur maxima du $\cos\varphi$ d'un moteur pour lequel on a

$$\varepsilon=0{,}035 \quad \varepsilon'=0{,}03 \quad \sigma=0{,}06 \quad \frac{i_0}{J_1}=0{,}4$$

on a

$$y=\frac{J_1}{i_0}\varepsilon=\frac{1}{0{,}4}\,\frac{1}{0{,}035}=71{,}5.$$

Tableau XII. — *Valeurs de x et C pour $\cos \varphi_{max}$.*

σ =		0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14
$y = 20$	$x =$	2,705	2,622	2,530	2,443	2,363	2,275
	C =	0,792	0,773	0,753	0,733	0,709	0,688
$y = 35$	$x =$	3,160	3,000	2,840	2,690	2,560	2,432
	C =	0,834	0,814	0,789	0,765	0,738	0,713
$y = 50$	$x =$	3,440	3,230	3,010	2,810	2,650	2,500
	C =	0,854	0,831	0,808	0,780	0,756	0,729
$y = 100$	$x =$	3,990	3,580	3,245	2,980	2,746	2,582
	C =	0,888	0,859	0,828	0,798	0,769	0,740
$y = \infty$	$x =$	5,000	4,100	3,530	3,710	2,880	2,670
	C =	0,940	0,887	0,851	0,818	0,785	0,754

L'égalité A confirme cette assertion de M. Blondel [1], à savoir que le maximum du cos φ dépend uniquement du coefficient de dispersion et du rendement du moteur.

Cette égalité montre aussi combien il est important de réduire le coefficient de dispersion, et cela d'autant plus que l'on exige un rendement plus élevé. Un moteur dont le coefficient de dispersion est supérieur à 0,12 ou 0,15 est inadmissible.

Une autre question intéressante est la suivante : quel doit être le rapport du courant à vide au courant normal $\frac{i_0}{I}$ pour que le cos φ soit maximum pour le courant I.

On a

$$\frac{i_0}{I} = \frac{A}{(1-\sigma)x}\ \frac{1}{(1-\varsigma)(1-g)} = \frac{G}{(1-\varsigma)(1-g)}$$

Si le moteur doit avoir son cos φ maximum en pleine charge il n'y a aucune raison de prendre le courant à vide au-dessous de cette valeur ; mais si le moteur ne doit marcher en pleine charge que par intervalles, on a intérêt à atteindre le maximum du cos φ pour une charge inférieure à la normale. On sera alors conduit à réduire le courant à vide.

Tableau XIII. — *Valeurs de* G.

σ =	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14
$y = 20$	0,492	0,525	0,559	0,586	0,620	0,671
$y = 35$	0,395	0,426	0,464	0,504	0,547	0,593
??? $y = 50$	0,349	0,383	0,425	0,470	0,513	0,558
$y = 100$	0,284	0,330	0,372	0,416	0,466	0,516
$y = \infty$	0,219	0,275	0,334	0,386	0,440	0,496

III. — Prédétermination des machines

Nous supposerons donnés :

la puissance du moteur en chevaux, c'est-à-dire E et I ;

la fréquence c ;

la vitesse approximative $n = \frac{120\,c}{p}(1-g')$;

cos φ ;

le rendement.

Nous supposerons que l'on a fait une hypothèse sur le coefficient de dispersion. Nous diviserons le calcul en deux parties.

1° Calcul des dimensions et de l'enroulement du rotor.

2° Calcul de l'enroulement dn stator.

1. Calcul de l'inducteur. — *Courant d'excitation.* — On décompose d'abord la valeur du rendement en ses éléments constitutifs. $(1-\varepsilon)$ pour l'enroulement primaire ; $(1-\varepsilon')$ pour le fer ; $(1-g)$ pour l'armature ; $(1-\varsigma)$ pour le rendement mécanique (tableau IX). On a :

$$\cos\varphi\,(1-\varepsilon)\,(1-\varepsilon') = \sqrt{\frac{x^2}{1+x^2}\ \frac{(1-\sigma)^2}{A}}\,.$$

On calcule le premier membre qui ne renferme que des quantités connues ; on cherche ensuite dans le tableau VIII, la valeur correspondante de x ; y n'est pas connu et on doit en admettre une valeur estimative. Si l'on n'a pas d'autre donnée, on peut s'en tenir aux valeurs suivantes :

Pour les moteurs de	1 cheval . .	$y =$	20 à 30
»	1 à 5 chevaux .	$y =$	40 à 75
»	5 à 20 » .	$y =$	60 à 120
»	20 à 50 » .	$y =$	75 à 150
»	au-dessus . . .	$y =$	150 à 200

Pour $y = 50$ le tableau XII donnerait $c = 0{,}831$, pour $y = 100$ on a $c = 0{,}859$. La vraie valeur de c est environ $c = 0{,}845$, d'où

$$\cos\varphi_{max} = \frac{0{,}845}{(1-0{,}035)\,(1-0{,}05)} = 0{,}90.$$

L'égalité approchée A nous donne

$$\cos\varphi_{max} = \frac{0{,}94}{1{,}06}\ \frac{0{,}96}{0{,}965.0{,}97} = 0{,}91\,.$$

(1) *Éclairage Électrique*, 26 octobre 1895.

Le tableau VIII montre que l'évaluation de y n'est pas très difficile car les erreurs que l'on commet lorsque $y > 50$ sont insignifiantes. Ayant ainsi calculé x, on calcule le rapport du courant magnétisant au courant normal par la formule

$$\frac{i_0}{I} = f = \frac{1}{(1-z)(1-g)} \frac{A}{(1-\sigma)x}.$$

Comme x est connu on déduira le quotient $\frac{A}{(1-\sigma)x}$ du tableau VI. Avant de poursuivre le calcul, il est bon de vérifier la stabilité. La stabilité, c'est-à-dire, le rapport du couple de décrochage au couple normal.

$$\frac{Z_{max}}{Z_{min}} = \frac{i_0}{I'} \frac{(1-\sigma''')(1-z''')(1-g')}{\sigma'''\left[1+\left(1+\frac{1}{\sigma''' y}\right)^2\right]} = fa.$$

Longueur du stator. — Encoches. — Nombre de barres. — Nous partons de la relation

$$E_1 = i_0 \omega_1 L_1 = f I \omega_1 L_1.$$

Remplaçant L_1 par sa valeur

$$E_1 = 2\pi c \left(\frac{K_1 k_1 k'_1 \gamma}{2.10^8} \frac{N_1^2}{m_1 q_1^2 p_1^2} \frac{Dl}{\delta\alpha} v_1 \right) f I.$$

Afin de rendre cette formule plus pratique, nous introduirons le produit du nombre de conducteurs par l'intensité. Cette grandeur dépend directement de l'emplacement réservé à l'enroulement et croît environ comme le carré du diamètre d'alésage. On peut écrire

$$\frac{IN}{q} = \beta D^2 \quad \text{ou} \quad \frac{N}{q} = \frac{\beta D^2}{I}$$

β varie de 6 à 8 pour les petits moteurs, et de 5 à 6 pour les grands (la tension étant de 110 volts). Pour les moteurs à haute tension, β est un peu inférieur à 4-5 par suite d'une utilisation moins favorable de l'espace réservé à l'enroulement. Remplaçant alors N par sa valeur, on trouve

$$D^3 l = \frac{EIm}{c} \frac{10^8}{\pi} \frac{\delta\alpha p^2}{K_1 k_1 k'_1 f \beta^2 \gamma v_1} = \left(\frac{EIm}{n}\right) \frac{120.10^8}{\pi} \frac{\delta\alpha p(1-g)}{K_1 k_1 k'_1 f \beta^2 \gamma v_1}.$$

Vérification : La vitesse de l'armature ne doit pas dépasser 25 mètres. En pratique, on adoptera les vitesses suivantes :

Moteurs de 1 à 5 chevaux	. . . . . .	10 — 15 m.
» 5 à 20 »	. . . . . .	15 — 20 m.
» au-dessus de 20 chevaux	. .	20 — 25 m.

Il faut ensuite vérifier l'espace réservé au bobinage. On dessinera une partie de l'inducteur et on vérifiera si le nombre de barres

$$n = \frac{D^2 \beta q}{I}$$

peut y trouver place et si la perte ohmique correspond à ε E. Si on arrive à des chiffres admissibles, il est bon de reprendre le calcul en sens inverse et de déduire du nombre de barres que l'on admet, le courant à vide. De l'égalité

$$\frac{I}{i_0 (1-z)(1-g)} = \frac{(1-\sigma)x}{A}$$

on déduira x à l'aide du tableau VI. On vérifiera aussi si le cos φ qui en résulte ne diffère pas trop de la valeur primitivement admise.

2° Calcul de l'enroulement induit. — 1° *Induit ordinaire.*

Par définition

$$x = \frac{g \omega_1 L_2}{R_2}.$$

On a

$$L_2 = \frac{K_2 k_2 k'_2 \gamma}{2.10^8} \frac{N_2^2}{m_2 q_2^2 p^2} \frac{Dl}{\delta\alpha} v_2.$$

Désignons par L la longueur moyenne d'une barre augmentée de sa développante en cm et par s_2 la section en cm². On a

$$R_2 = L \frac{N_2}{50\, m_2 s_2 q^2\, 10^4}.$$

D'autre part, $\omega_1 = \pi c$. Il en résulte

$$N_2 s_2 = 63\, x \frac{\delta\alpha p^2 L}{g c K_2 k_2 k'_2 \gamma D l v_2}.$$

Comme on le voit, lorsque le produit $N_2 s_2$ est invariable, le couplage de l'enroulement et le nombre de barres sont indifférents. Si donc on ne se sert pas de bagues de contact, on peut choisir le couplage et le nombre de barres arbitrairement. Si on emploie les bagues, on a intérêt à diminuer autant que possible le courant dans l'induit.

Dans ce cas on se servira de la relation

$$J_2 = J_1 \frac{k_1 k'_1 N_1 q_2}{k_2 k'_2 N_2 q_1 v^2} \frac{x}{\sqrt{1+x^2}}.$$

2° *Induit à cage d'écureuil.* — La figure 18 représente un induit à cage d'écureuil déve-

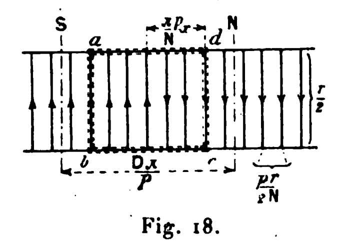


Fig. 18.

loppé. Soit : r, la résistance de deux barres correspondantes ; r_1, la résistance des connexions mesurée entre les milieux des pôles; $\frac{r_1 p_1}{N_2}$, la résistance des connexions entre deux barres consécutives ; $\overline{E_2}$, la force électromotrice maxima induite dans une spire (2 barres) ; $i = \overline{J_2} \frac{2}{p}$, l'intensité maxima dans un conducteur. Pour ne pas trop compliquer le calcul, nous supposerons que la répartition du courant sur l'armature est sinusoïdale. Appliquant les lois de Kirchhoff à un circuit fermé quelconque, *abcd*, on trouve

$$E_2 = \frac{2pr_1 i}{N}\left[\int_0^{\frac{N}{2p}} \sin\frac{\pi p}{N} x dx + \int_1^{\frac{N}{2p}} \sin\frac{\pi p}{N} x dx \dots + \int_m^{\frac{N}{2p}} \sin\frac{\pi p}{N} x dx\right] + ri \sin\frac{\pi pm}{N}$$

$$= \frac{2}{\pi} r_1 i \int_0^m \cos\frac{\pi p}{N} x dx + ri \sin\frac{\pi pm}{N}$$

$$= \frac{2r_1 N}{\pi^2 p} i \sin\frac{\pi pm}{N} + ri \sin\frac{\pi pm}{N}$$

ou bien, en divisant les deux termes par $\sin\frac{\pi p m}{N}$ et remplaçant les valeurs maxima par les valeurs efficaces,

$$E_2 = i\left(r + 0{,}2\frac{N_2}{p} r_1\right) = J_2\left(r + 0{,}2\frac{N_2}{p} r_1\right)\frac{2}{p}$$

$$R_2 = \left(r + 0{,}2\frac{N_2}{p} r_1\right)\frac{2}{p} = \frac{8}{10^6 p}\left(\frac{l'}{s_2} + \frac{0{,}63 DN_2}{p^2 s'_2}\right)$$

Nous avons vu que

$$g\omega_1 I_2 = 2\pi cg\left(\frac{1{,}62}{10^8}\right)\frac{N_2}{p^2}\frac{Dp l\gamma}{p^2 \delta\alpha}$$

d'où

$$x = \frac{g}{80}\frac{N_2 s_2 \gamma Dc l v_2}{\delta\alpha\left(l'p^2 + 0{,}63 DN_2\frac{s_2}{s'_2}\right)}$$

ou

$$N_2 s_2 = 80\,\delta\alpha\frac{l'p^2 + 0{,}63 DN_2\frac{s_2}{s'_2}}{cg\gamma D l v_2}$$

3 Exemple de calcul d'un moteur. — Soit a calculer un moteur diphasé de 15 chevaux, 1 000 tours, 250 volts, fréquence 50 périodes.

Rendement : 87 p. 100 ; $\cos\varphi = 0{,}84$.

Nous décomposerons le rendement de la façon suivante :

$$1 - \varepsilon = 0{,}97 ;\ 1 - \varepsilon' = 0{,}98 ;\ 1 - g = 8{,}97 ;\ 1 - z = 0{,}94.$$

Nous ferons les hypothèses suivantes :

$$\delta = 0{,}1 \quad \sigma = 0{,}08 \quad y = 100.$$

a. *Calcul du courant à vide.* — On a

$$1 - \sigma\sqrt{\frac{x^2}{1 + x^2}\frac{1}{A}} = (1 - \varepsilon)(1 - \varepsilon')\cos\varphi = 0{,}80$$

Pour $y = 100$ et $\sigma = 0{,}08$ le tableau VIII donne $x = 2$.

Inversement du tableau VI on déduit

$$\frac{I}{i_0(1 - g)(1 - z)} = \frac{(1 - \sigma)x}{A} = 1{,}725$$

d'où

$$\frac{i_0}{I} = f = \frac{1}{1{,}725 . 0{,}97 . 0{,}94} = 0{,}636$$

$$I = \frac{15.736}{2.250} = 22{,}1 \text{ ampères}$$

$$i_0 = fI = 14 \text{ ampères}$$

$$J_1 = \frac{I}{S\cos\varphi} = \frac{22{,}1}{0{,}87 . 0{,}84} = 30 \text{ ampères}.$$

Nous vérifions la stabilité : Pour la charge maxima on a environ $\sigma''' = 0{,}06$.

Le tableau XI nous donne

$$\frac{I_{max}}{I_{norm}} = a\frac{i_0}{I} = 5{,}34 . 0{,}636 = 3{,}4.$$

Le moteur se décrochera donc pour une surcharge de 240 p. 100.

b. *Calcul des encoches et de la longueur du stator.* — Nous supposerons

$$\beta = \frac{IN}{q_1 D^2} = 8{,}2 ;\ q = 1 ;\ \alpha = 1{,}1 ;\ \gamma = 0{,}7 ;\ v_1 = 1{,}04.$$

Admettons 60 encoches, à raison de 5 par pôle et par phase : alors on a

$$K = 1{,}8 ;\ R_1 = 0{,}77 ;\ R'_1 = 0{,}47.$$

Tableau XIV. — *Données de moteurs construits.*

Nr.	PS	Périodes (c)	Vitesse (n)	Nombre de pôles (p)	Données électriques: E	I	J_1 observé	i_0 observé	σ à vide	Données de construction: D cm	D_1 cm	D_2 cm	l cm	δ cm	Nombre d'encoches: Prim.	Sec.	Nombre de barres: N_1	N_2	Dimensions des fils: Prim. mm	Second. mm	Données de calcul: R_1	R_2	$\frac{\omega_1 L_1}{v_1}$	$\frac{\omega_1 L_2}{v_2}$	$\frac{y}{v_1}$	$\frac{x}{g v_2}$	$\frac{\Phi}{10^6}$
1	1/6	50	1440	4	115	0,36	—	—	—	7	14,5	1,6	7	0,025	12	17	—	17	—	7	—	—	—	—	—	—	—
2	1/4	50	1450	4	110	0,56	1,5	0,9	—	10	18,4	2	10	0,05	24	26	1800	26	0,8	5,2	5,9	0,00011	103	0,0029	17,5	27,4	0,172
3	1/2	50	1450	4	110	1,12	2,3	1,3	—	13,8	21,2	7,8	12	0,075	36	25	1296	25	0,9	6.5	4	0,000078	76,2	0,0042	19	54	0,24
4	3/4	50	1450	4	110	1,67	4,5	2,8	—	15,8	24	10	13	0,05	36	25	972	25	1,3	8	0,9	0,000076	63	0,006	87,5	79	0,32
5	1 1/2	50	1450	4	115	3,2	—	—	—	14,5	23,2	3	11,5	0,05	24	31	912	31	1,2	6,5	—	—	—	—	—	—	0,35
6	1 1/2	50	1450	4	110	3,35	6	3	—	16,8	26,2	9	14	0,05	36	24	684	24	1,8	7,5	0,82	0,000535	31	0,019	37,8	35,4	0,453
7	1 1/2	50	1450	4	110	3,35	—	—	—	18,9	32	—	12	0,04	36	48	648	240	1,5	2,1	—	—	—	—	—	—	0,476
8	2 1/2	50	1450	4	—	—	—	—	—	14,5	23,2	—	14,5	0,05	24	31	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	3	50	1450	4	110	6,7	13,5	6,5	—	20	31	10	18	0.05	48	36	432	36	2,3	7,5	0,3	0.0026	17,6	0,126	58,6	48,5	0,72
10	4	50	1450	4	110	9,0	—	—	—	18	30	—	14,5	0,05	36	48	288	96	—	4,5	—	—	—	—	—	—	1,07
11	6	50	970	6	110	13,4	30	20	—	26	40	15	18	0.075	36	66	432	66	3,3	4 × 10	0,11	0,0048	6,09	0,138	55,2	28,8	0,72
12	6	40	1160	4	190	7.8	—	5,48	0,15	21	35,5	—	17	0,075	36	48	684	144	2	2,7	—	—	37,8	2,065	—	—	0,975
13	6	50	1450	4	63	23,4	—	—	0,1	21	35,5	—	17	0,075	36	48	204	144	4	2,7	—	—	4,2	2,065	—	—	0.865
14	6	40	770	6	190	7,8	—	8.94	0,21	28,5	43,6	18	18	0,075	36	54	684	216	2,7	3.4	—	—	24,4	2,44	—	—	0.97
15	9	50	970	6	110	20	37	23	—	30	46,2	16	21	0,075	36	90	324	90	4	3 × 10	0,064	0,00916	6,0	0,445	94	48,5	0,955
16	10	40	770	6	190	12,9	—	12,2	0,15	32,5	49,5	18	21	0,1	36	90	522	270	3,4	3,8	0,181	0,072	13,7	0,358	76	50	1,27
17	12	50	970	6	110	26,8	45	27	—	32	50,2	18,6	24	0,075	36	90	252	90	4.3	3 × 11	0,065	0,0109	4,3	0,525	66	48	1,233
18	15	50	980	6	190	19,4	—	10	—	35	55	16	23	0,08	36	90	432	180	2 à 3	2,5 × 11	0,12	0,044	17	2,9	141	66	1,234
19	18	50	970	6	110	40	58	33	—	40	57	26	23	0,075	54	90	270	90	2 à 38	4 × 11	0,04	0,00464	6,2	0,416	155	90	1,15
20	24	40	770	6	190	31	—	17,4	0,15	39	59	24	22,5	0,1	36	90	432	180	4,3	5	0,098	0,025	12,5	2,13	127	85	1,53
21	24	50	970	6	110	53,6	77	25	—	45	64	27,5	28	0,1	54	114	216	144	1,7 × 16	3 × 11	0,063	0,0097	4,46	0,62	71	64	1,44
22	25	42	820	6	173	35,5	—	—	—	48	60,8	33,5	26	0,15	216	180	216	180	—	—	—	—	—	—	—	—	—
23	30	45	865	6	110	67	—	—	—	41	62	26	28	0,075	36	54	180	54	2 à 5,2	11	—	—	—	—	—	—	—
24	36	50	970	6	110	80	100	27	—	50	69,6	35	24	0,1	94	150	188	150	3 × 16	4 × 9	0,02	0,0106	3,54	0,139	177	131	1,65
25	48	50	725	8	110	107	125	40	—	60	80	44	24	0,1	99	176	180	176	3,5 × 15	5,6	0,016	0,0076	2,22	0,585	139	77	1,72
26	60	50	725	8	110	134	170	48	—	60	80	40	30	0,1	150	176	150	176	5,5 × 12,5	5,7	0,011	0,00776	1,93	0,735	175	95	2,07
27	75	50	570	10	2890	6,38	—	—	—	85,7	115	73	25	0,15	150	252	4500	252	1,6	6,5?	—	—	—	—	—	—	—
28	180	50	580	10	110	178	220	65	—	70	90	56,5	36	0,15	150	140	150	140	7 × 12	8,7	0,0125	0,00484	1,13	0,434	90	90	2,07
29	100	40	590	8	2890	8,5	—	—	—	75	102	52,6	30	—	—	—	48	96	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30	150	50	495	12	1900	19,4	—	6	—	90	121	68	32,5	0,075	—	—	2016	1080	3,2	4,2	1,0	—	—	—	—	—	—

On trouve alors

$$D^5 l = \left(\frac{EIm}{c}\right)\frac{10^8}{\pi}\;\frac{\delta\alpha p^2}{Kk_1k'_1 f\beta^2\gamma\nu_1} = 1375.10^6$$

Soit $\lambda = \frac{l}{D}$. Il reste

$$D\sqrt[6]{\lambda} = 33,35.$$

Si nous prenons $\gamma = 0,65$, on a

$$D = \frac{33,35}{0,93} = 36 \text{ cm (vitesse tangentielle} = 18,3 \text{ m)}$$

$$l = 0,65.36 = 23,3 \text{ cm}.$$

c. *Calcul de l'enroulement primaire.* — D'après nos hypothèses

$$N_1 = \beta\frac{D^2}{I} = 8,2\;\frac{36^2}{22,1} = 480 \text{ barres en chiffre rond.}$$

La longueur moyenne d'une 1/2 spire est d'environ L = 56 cm.

On en déduit la section

$$s_1 = \frac{N_1 LJ_1}{50.2q_1{}^2\varepsilon E10^4} = \frac{480.56.30}{50.2.0,03.250.10^4} = 0,1075 \text{ cm}^2$$

Diamètre du fil : nu, 3,7 mm ; isolé, 4,4 mm.

d. *Calcul de l'enroulement secondaire.*

1° Induit avec bagues de contact. — Admettons une intensité de 54 ampères dans l'induit et supposons un bobinage triphasé avec 72 encoches, 3 par pôle et par phase. On a

$$K_2 = 0,84 \quad K'_2 = 0,467 \quad \nu_2 = 1,04$$

Alors

$$N_2 = \frac{J_1\,k_1k'_1\,q_2}{J_2k_2k'_2q_1}\;\frac{x}{\nu_2\sqrt{1+x^2}} = 216.$$

La longueur moyenne d'une barre est d'environ 47 cm. La section d'une barre est donnée par

$$N_2 s_2 = \frac{x}{g}\;\frac{63\delta\alpha p^2 L}{cK_2k_2k'_2\gamma Dl\nu_2} = 34,2 \text{ cm}^2$$

d'où $s_2 = 15,8$ mm².

Fil nu, 4,5 mm ; isolé, 5,2 mm.

2° Induit à cage d'écureuil. — Si on admet que la section des connexions est 5 fois celle des barres et que la distance des 2 cercles est de 25 cm, on a

$$N_2 s_2 = 80\,\delta\alpha\,\frac{\left(p^2 l' + 0,63\,DN_2\frac{s_2}{s_2'}\right)x}{cg\gamma Dl\nu_2} = 23,6 \text{ cm}^2$$

$$s_2 = 32,7 \text{ mm}^2 \quad s'_2 = 5\;32,7 = 169 \text{ mm}^2.$$

e. *Détermnation de l'épaisseur du fer h_1.* — La valeur du flux primaire est de

$$\Phi_m = \frac{4\sqrt{2}.10^8 m_1 q_1 E_1}{K_1 2\pi c N_1} = 1.040.000.$$

Tenant compte du papier, on a

$$h_1 = \frac{\Phi_m}{2.l.0,87.B_m}.$$

Pour continuer le calcul, on essaiera une valeur pour B_m, 4000 par exemple et l'on verra si la perte dans le fer correspond bien à la condition

Perte dans le fer = $\varepsilon' \times$ puissance totale.

Il faut naturellement tenir compte des pertes dans les dents.

f. Détermnation de l'épaisseur du fer h_2. — La perte dans le fer de l'induit est très petite à charge normale ; en supposant l'induction et le volume égaux à ceux du primaire, la perte dans le fer du secondaire est à celle du primaire dans le rapport $\frac{g}{1}$. Il suffit donc de prendre $h_2 = 0,8\,h$, sans autre calcul.

Le tableau XIV qui donne les dimensions principales de 30 moteurs exécutés par 5 maisons différentes sera d'un grand secours pour ces calculs. E. B.

DISTRIBUTION

Inductance dans les longues lignes de transmission, par **G. Sartori**. *L'Elettricista*, t. IX, p. 51, mars 1900.

M. Sartori a étudié le transport d'énergie de la cascade Manojlovac sur la Kerka jusqu'à la mer par une ligne de 40 km et par courants triphasés. C'est à ce propos qu'il indique la méthode de recherche employée et les formules obtenues par lui au sujet de l'inductance.

Considérons deux conducteurs parallèles de même rayon r, à distance d des centres ; l'un est parcouru par le courant I_i et l'autre par le courant I_e que nous supposons de même direction. Si les deux courants, à un moment déterminé, se réduisent à zéro, nous pouvons admettre que les lignes de force sont réabsorbées dans leurs conducteurs respectifs. Un certain nombre N de ces lignes couperont ainsi l'élément fili-

forme p (fig. 1) et c'est de ce nombre que dépend la force électromotrice induite de self et de mutuelle inductions. Ce nombre N est dû aux lignes

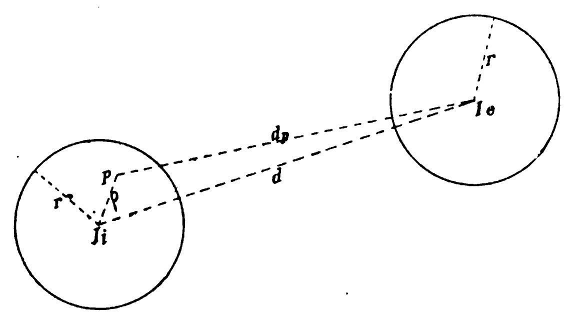


Fig. 1.

comprises entre les circonférences de rayons ρ et r et à celles comprises entre les circonférences de rayons r et R_i pour le premier courant, en supposant qu'à la distance R_i le champ devient pratiquement nul ; il y a en outre les lignes comprises entre les rayons d_p et R_e pour le second courant.

De ρ à r le champ représenté par $H = 2I_i \frac{\rho}{r^2}$ va en croissant ; tandis que le champ $H = 2I \frac{1}{x}$ de r à R_i et de d_p à R_e va en décroissant.

On a

$$N = I_i \frac{r^2 - \rho^2}{r^2} - 5^2 I_i \log R_i + 2I_i \log r - 2I_e \log R_e + 2I_e \log d_p.$$

S'il s'agit d'un système triphasé ou de plusieurs systèmes tels (lignes à deux ou plusieurs circuits triphasés), on a autant de termes I_e qu'il y a de courants moins un.

$$N = I_i \frac{r^2 - \rho^2}{r^2} - 2I_i \log R_i + 2I_i \log r - 2\Sigma I_e \log R_e + 2\Sigma I_e \log d_p.$$

En prenant R suffisamment grand, on peut le considérer comme le même pour tous les conducteurs, et comme $I_i + \Sigma I_e$ est constamment nul, on a :

$$N = I_i \frac{r^2 - \rho^2}{r^2} + 2I_i\, r^2 \log r + 2\Sigma I_e \log d_p.$$

Pour trouver la force électromotrice moyenne induite dans le conducteur pendant la réabsorption des lignes de force, il faut considérer la valeur moyenne de N étendue à tous les éléments filiformes p du conducteur.

$$N_m = \frac{I_i}{2} + 2I_i \log r + 2\Sigma I_e \log d.$$

D'où pour la force électromotrice induite

$$e = -\frac{dN_m}{dt} = -\left(\frac{1}{2} + 2 \log r\right)\frac{dI_i}{dt} - 2\Sigma \log d \frac{dI}{dt}$$

et par suite

$$L = \frac{1}{2} + 2 \log r$$
$$M = 2 \log d.$$

L'auteur applique ces résultats à un système triphasé unique équilibré.

$$I_1 = I_0 \sin(\omega t - \varphi) = I_0 \sin \alpha$$
$$I_2 = I_0 \sin\left(\alpha - \frac{2\pi}{3}\right)$$
$$I_3 = I_0 \sin\left(\alpha + \frac{2\pi}{3}\right)$$

a, b, c sont les distances des centres des conducteurs et r leur rayon.

Pour le premier conducteur, on a :

$$e_1 = -L\omega I_0 \cos \alpha - \omega I_0 \left[M_{1.2} \cos\left(\alpha - \frac{2\pi}{3}\right) + M_{1.3} \cos\left(\alpha + \frac{2\pi}{3}\right)\right]$$

c'est-à-dire

$$e_1 = -\omega I_0 \left[L \cos \alpha - \frac{M_{1.2}}{2}\left(\cos \alpha - \sqrt{3} \sin \alpha\right) - \frac{M_{1.3}}{2}\left(\cos \alpha + \sqrt{3} \sin \alpha\right)\right].$$

Si $a = b = c$, on a

$$M_{1.2} = M_{2.3} = M_{3.1} = M$$

d'où

$$e_1 = -(L - M)\,\omega I_0 \cos \alpha = -(L - M)\frac{dI_1}{dt}.$$

On peut donc dire que, dans ce cas, les effets combinés de self et de mutuelle inductions se réduisent à un seul effet de self-induction si l'on considère un coefficient de *self-induction apparente* L—M.

On peut obtenir un résultat analogue dans le cas général où les trois longueurs a, b et c sont différentes.

On a en effet

$$e_1 = -L_1 \frac{d}{dt} I_0 \cos(\alpha - \delta_1)$$

$$e_2 = -L_2 \frac{d}{dt} I_0 \cos\left(\alpha - \frac{2\pi}{3} - \delta_2\right)$$

$$e_3 = -L_3 \frac{d}{dt} I_0 \cos\left(\alpha + \frac{2\pi}{3} - \delta_3\right)$$

où L_1 L_2 L_3 sont trois coefficients de self-induction apparente et δ_1 δ_2 δ_3 trois retards de phase donnés par les formules

$$L_1^2 = \left[L - \frac{1}{2}(M_{1.2} + M_{1.3})\right]^2 + \frac{3}{4}(M_{1.2} - M_{1.3})^2$$

$$\text{tang}\ \delta_1 = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{M_{1.2} - M_{1.3}}{L - \frac{1}{2}(M_{1.2} + M_{1.3})}.$$

Le cas d'un système triphasé quelconque se traiterait de même.

L'auteur montre ensuite comment on doit composer la force électromotrice avec la tension en ligne; soit V_1, la tension en volts résultante à l'arrivée, V_a la tension étoilée correspondante, I le vecteur de courant, en retard de l'angle φ (fig. 2), retard déterminé par les appareils récepteurs. Portons $AB = R \times I$, R étant la résistance ohmique d'un des conducteurs et faisons $BC = e$ perpendiculaire au vecteur I. Composons enfin OB avec $BC_1 = BC$, mais tourné de δ (généralement petit); OC_1 ou V_p donnera la tension étoilée nécessaire au tableau de distribution à l'usine pour obtenir une tension V_1 à l'arrivée avec courant I.

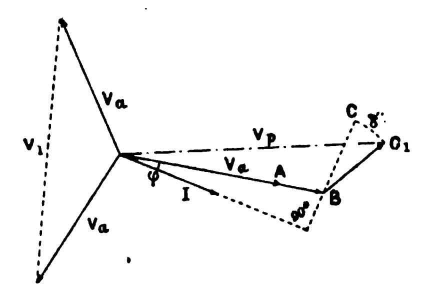


Fig. 2.

L'auteur termine en donnant un exemple : c'est une application des résultats précédents à une ligne de 20 km, disposant de 500 kilowatts avec un potentiel de 5000 volts à l'arrivée, et une perte en ligne de 10 p. 100. L'inductance des récepteurs correspond à $\varphi = 0,8$, la fréquence du courant est 50.

G. G.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 26 novembre 1900.

Action du champ magnétique terrestre sur la marche d'un chronomètre aimanté, par **A. Cornu**. *Comptesrendus*, t. CXXXI, p. 859-865.

L'auteur ayant aimanté, par mégarde, une montre de poche dite *demi-chronomètre* (échappement à ancre, balancier compensé, spiral en palladium, marche antérieurement très satisfaisante) a profité de cette circonstance pour étudier l'effet du magnétisme terrestre sur le régime de marche de cette montre [1].

Pour cette recherche, la montre a été placée sur un support horizontal mobile autour d'un

[1] C'est un fait connu de tous les électriciens, qu'une montre aimantée s'arrête constamment et il est d'opinion courante qu'une telle montre est devenue inutilisable à moins d'une désaimantation complète. Les résultats de l'étude de M. Cornu démontrent que cette opinion est erronée et qu'un régime régulier peut s'établir.

Les considérations suivantes avaient amené M. Cornu à prévoir cette régularité de marche ;

« Les pièces d'acier *aimantables* sont les pivots, le ressort, l'ancre, le balancier et ses annexes de l'échappement. Or, en général, dans les montres de précision, tout contact direct de pièces d'acier est soigneusement évité ; ces contacts ont lieu par l'intermédiaire d'une pierre dure. Donc il ne peut se produire aucune adhérence magnétique, par suite, aucun arrêt de ce chef. Toutes les actions mutuelles sont des actions à distance ; beaucoup d'entre elles, comme celles des pivots, se compensent ou

axe vertical et maintenue pendant un nombre de jours sensiblement constant dans les quatre orientations rectangulaires N, S, E, O, magnétiques, c'est-à-dire dans des positions telles que les rayons menés du centre du cadran aux heures XII, III, VI, IX fussent successivement dirigés vers le nord magnétique. Les observations, poursuivies depuis juin 1898 jusqu'au moment de la publication de cette note, ont permis de constater, avec une netteté parfaite, la variation systématique de la marche diurne avec l'orientation et ont montré que cette variation est réglée par la loi sinusoïdale $y = A \sin(\omega - \omega_0) + C$, y étant la variation et ω l'azimut variable. Comme cette loi est identique à celle que doit présenter la marche d'une montre dont le cadran est vertical et orienté dans divers azimuts, lorsque le balancier est insuffisamment équilibré, la condition découverte par Philipps [1] pour éliminer l'influence de la pesanteur doit s'appliquer à l'élimination de l'influence du magnétisme; c'est là un des résultats intéressants de cette étude.

s'atténuent par suite de la direction de la ligne de leurs pôles vis-à-vis des pièces oscillantes de l'échappement. En tout cas, ces actions sont de deux sortes : les forces permanentes, dont la résultante peut augmenter le frottement des pivots sur les pierres, et les forces périodiques; les premières peuvent effectivement entraver la mobilité des pièces et causer leur arrêt, mais les autres agissent alternativement comme retardatrices et comme accélératrices; elles ont pour effet d'altérer la période du balancier, c'est-à-dire la marche diurne ainsi que son amplitude moyenne; il peut arriver cependant que cette amplitude tombe au-dessous d'une certaine limite, ce qui entraîne un arrêt. Mais si le rouage a fonctionné sans interruption pendant vingt-quatre heures, il n'y a aucun motif pour que le mouvement ne continue pas d'une manière identique, car le remontage quotidien remet toutes les pièces dans la même position relative. S'il se produit un arrêt, c'est qu'on a fait intervenir une force étrangère : choc, trépidation, poussières, approche d'objets aimantés. »

Parmi ces causes d'arrêt, la plus importante paraît être la présence des poussières magnétiques qui, attirées par les pièces aimantées, viennent coincer les engrenages ou les pièces très mobiles de l'échappement. M. Cornu a, en effet, remarqué qu'un léger choc fait repartir le balancier avec son amplitude ordinaire, et, d'autre part, que le nettoyage pur et simple du rouage, sans essai de désaimantation, fait disparaître les arrêts pendant longtemps, probablement jusqu'à ce que d'autres poussières magnétiques s'introduisent par les fissures du boîtier ou soient produites par l'usure des pièces d'acier du remontage.

[1] *Annales des Mines*, 5e série, t. IX, p. 321, 1856.

Bien que la variation systématique observée ne puisse être attribuée à d'autre cause que l'action du magnétisme, M. Cornu s'est assuré directement qu'il en est bien ainsi en étudiant la marche de la montre après avoir annulé l'action terrestre sur le balancier par celle d'un barreau aimanté compensateur. Conformément aux prévisions, la marche diurne de la montre observée dans les quatre azimuts est restée sensiblement la même, c'est-à-dire indépendante de l'orientation.

M. Cornu pense que cette influence du magnétisme terrestre est peut-être la cause de certaines anomalies que présente la marche des chronomètres sur les navires. Certaines pièces en acier trempé des chronomètres sont en effet toujours plus ou moins magnétiques et d'un autre côté les masses considérables de fer, de fonte et d'acier qui entrent dans la construction des navires actuels prennent une aimantation dépendant de l'orientation du navire. Aussi M. Cornu termine-t-il sa note en conseillant d'établir, dans les observatoires où sont réglés les chronomètres, la formule de correction permettant de tenir compte de l'influence du magnétisme sur la marche de ces instruments [1].

[1] Voici les conclusions de la note :

« 1° Les chronomètres de précision sont influencés par les variations du champ magnétique où ils sont placés dans une mesure qui dépend du degré d'aimantation du balancier et du spiral.

» Cette influence est particulièrement à craindre à bord des bâtiments en fer, surtout par les changements de route qui modifient le champ magnétique en direction et en intensité.

» 2° Il importerait donc, avant de procéder à l'étude de la marche des chronomètres, de déterminer le moment magnétique du balancier, muni ou non de son spiral : il est probable qu'on n'en trouvera aucun absolument dépourvu de magnétisme.

» 3° Dans les observatoires où l'on étudie la marche des chronomètres, il serait nécessaire de faire régulièrement les comparaisons dans quatre azimuts rectangulaires et de noter, s'il y a lieu, les variations systématiques correspondantes pour calculer la formule de correction.

» 4° En tout cas, il importe de régler à 440° l'amplitude totale des oscillations du balancier, suivant la règle découverte par Phillips, afin d'éliminer l'action du couple magnétique terrestre; malheureusement, dans les chronomètres, cette amplitude est difficile à atteindre et surtout à conserver.

» 5° Enfin, par surcroît de précaution, il y aurait lieu d'essayer, dans les observatoires aussi bien qu'à bord

Sur l'étude des orages lointains par l'électroradiophone, par **Th. Tommasina**. *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 876-878.

Reprenant une idée déjà mise en pratique par divers expérimentateurs, par M. Popoff en particulier, le professeur Boggio Lera, de Catane, a utilisé l'action sur les cohéreurs des décharges atmosphériques lointaines à l'enregistrement de ces décharges ; en se servant d'une série de relais de sensibilités différentes, agissant en nombre progressif suivant la conductibilité acquise par le cohéreur, il est parvenu à faire tracer à ses appareils des petits traits plus ou moins longs suivant l'intensité des décharges lointaines [1].

Au moyen de ses cohéreurs décohérents dont il a été question antérieurement [2], M. Tommasina a réalisé un appareil de construction plus simple qui, s'il ne laisse aucune trace écrite de l'existence des décharges atmosphériques, a l'avantage sur le précédent d'être plus sensible et de permettre de juger très facilement par l'oreille de l'intensité de ces décharges.

Le cohéreur est constitué par deux petits cylindres de charbon de lampe à arc, de 4 mm de diamètre, ajustés à frottement doux dans un tube de verre et entre lesquels sont placés de petits grains obtenus par écrasement d'un morceau du même charbon, débarrassés de leurs poussières ; aux électrodes sont fixés des fils de platine dépassant les extrémités du tube. Les grains et les électrodes sont rougis à la flamme pour les sécher ; l'espace entre les électrodes est réglé à la sensibilité maximum (1 mm pour des grains de 2 à 3 dixièmes de millimètre occupant la moitié de cet espace) ; le tube est ensuite scellé aux deux extrémités pour empêcher l'humidité de rentrer, ce qui ferait varier la sensibilité du cohéreur.

Le cohéreur ainsi construit est placé suivant l'axe d'un récepteur téléphonique et relié en série avec la bobine de cet instrument et avec un élément de pile sèche. Lorsqu'on met le téléphone à l'oreille le cohéreur se trouve horizontal et les grains produisent une pression égale sur chaque électrode.

L'auteur a constaté qu'avec cet instrument on entend, entre chaque signe tracé par l'électroradiographe du professeur Boggio Lera, une « quantité de bruits spéciaux donnant l'illusion de se trouver transporté à proximité de l'orage de façon à pouvoir en écouter directement toutes les phases ».

M. Tommasina a pu ainsi entendre et étudier des orages lointains lorsqu'aucune trace n'en paraissait à l'horizon. Le 29 septembre dernier il observa un orage douze heures avant qu'il ne passât sur Intra (Italie) où il avait installé son appareil.

M. Tommasina pense qu'à cause de sa simplicité et de l'absence de tout réglage, cet appareil, qu'il appelle électroradiophone, pourra rendre des services sur les navires, non seulement pour déceler les orages et suivre leur marche, mais encore pour distinguer, en utilisant des téléphones sélecteurs, les signaux dus aux décharges atmosphériques de ceux de la télégraphie sans fil.

des navires, d'envelopper chaque chronomètre dans une épaisse boîte de fonte ou de fer (comme le galvanomètre cuirassé de Lord Kelvin) pour soustraire l'instrument à l'action magnétique de la terre et du navire.

» Grâce à ces études ou à ces précautions, on pourrait sinon faire abstraction du magnétisme inévitable des pièces d'acier des chronomètres, du moins déterminer, par des mesures préalables, l'importance de l'action résiduelle et la correction qui peut l'annuler. »

(1) *Atti dell' Academia Giœnia di Scienze naturali di Catania*, 4e série, t. XXII, 20 janvier 1900.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. XXIII, p. 79, 14 avril 1900.

Sur l'aimantation des dépôts électrolytiques de fer obtenu dans un champ magnétique, par **Ch. Maurain**. *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 880-882.

L'auteur a mesuré l'intensité d'aimantation qu'acquière, en se formant, un dépôt électrolytique obtenu avec un bain à l'oxalate double de fer et d'ammonium additionné d'oxalate d'ammonium placé dans un champ magnétique. Il a constaté que, conformément aux résultats d'essais antérieurs [1], cette intensité croît très rapidement avec le champ et atteint environ 800 unités CGS quand le champ est de 9 gauss ; quand le champ continue à croître l'augmentation de l'intensité devient moins prononcée.

La croissance rapide de l'intensité d'aimanta-

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXIV, p. 397, 8 septembre 1900.



tion avec le champ magnétisant indiquant que la susceptibilité initiale est très grande, il était à prévoir que même sous l'influence d'un champ aussi faible que le champ terrestre, un dépôt électrolytique formé dans un tel champ présenterait une aimantation sensible. C'est ce que l'expérience a vérifié. Toutefois en compensant la composante verticale de ce champ par celui que produit un courant d'intensité convenable circulant dans la bobine où est disposé l'appareil électrolytique, M. Maurain a pu obtenir des lames ne présentant que des traces de magnétisation. Ces lames soumises, après leur formation, à l'action d'un champ d'intensité croissante, ont donné une courbe d'aimantation de forme ordinaire, c'est-à-dire présentant un point d'inflexion; cette courbe est de beaucoup en dessous de celle obtenue en portant en abscisses les champs et en ordonnées les intensités d'aimantation des lames *formées* dans ces champs.

Appareil pour localiser les dépêches dans la télégraphie sans fil, par **Paul Jégou**. *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 882-883.

Cet appareil n'a pas pour but d'assurer le secret des messages transmis, mais seulement de faire en sorte que plusieurs récepteurs se trouvant dans le rayon d'action du transmetteur, le poste intéressé reçoive seul la dépêche.

Pour cela chaque poste récepteur est muni de deux antennes réceptrices R et R′ de longueurs différentes reliées à des cohéreurs C et C′ disposés respectivement dans les circuits de deux piles P et P′. L'un et l'autre de ces circuits comprend un enroulement d'une bobine *différentielle* à deux enroulements identiques autour desquels est un troisième enroulement induit relié à un galvanomètre. Quand les deux cohéreurs entrent en action les deux enroulements primaires se trouvent parcourus par des courants dont le sens et l'intensité sont réglés de manière à ce que les courants induits par eux dans leurs éléments secondaires se compensent. Si l'un seulement des deux cohéreurs entre en action, le courant induit correspondant fait dévier l'équipage du galvanomètre.

Cela posé supposons que deux postes récepteurs B et C soient à des distances différentes d'un poste transmetteur A. En A se trouveront deux antennes transmettrices de longueurs inégales, la plus longue étant réglée de manière à ce que les ondes qu'elle émet puissent agir sur la plus longue R des antennes réceptrices du poste le plus éloigné B. En utilisant cette antenne pour la transmission, l'antenne R sera donc influencée, mais elle seule le sera si l'antenne R′ du poste B est prise suffisamment courte; par suite le galvanomètre de ce poste sera dévié, et A se trouvera en communication télégraphique avec B.

Quant au poste plus rapproché C, ses deux antennes, bien qu'inégales, seront influencées en même temps, la diminution du parcours effectué par les ondes permettant à celles-ci d'agir sur l'antenne la plus courte comme sur la plus longue.

Mais si on prend comme antenne transmettrice la plus courte des antennes du poste A, les ondes ne pourront agir sur aucun des cohéreurs du poste B ni sur celui du poste C relié à a plus courte antenne de ce poste; par conséquent ce dernier poste recevra les signaux et lui seulement.

Séance du 3 décembre 1900

Etude du carbure de samarium, par **H. Moissan**. *Comptes rendus*, t. XXXI, p. 924-926.

On fait un mélange de 200 gr d'oxyde de samarium Sa^2O^3 et 20 gr de charbon de sucre, on agglomère par pression et l'on chauffe pendant quatre minutes au four électrique avec un courant de 900 ampères sous 45 volts. On obtient un culot contenant un carbure cristallisé dont la composition, correspondant à la formule Sa^2C^2, est comparable à celle des carbures de cérium, de lanthane, de néodyme et de praséodyme. Ce carbure décompose l'eau froide comme les carbures alcalino-terreux, en fournissant un mélange complexe d'hydrocarbures, très riche en acétylène; ce mode de décomposition rapproche le samarium de l'yttrium et l'éloigne du groupe des terres rares du cérium.

(*A suivre*).

Le Gérant : C. NAUD



TABLE MÉTHODIQUE DES MATIÈRES

ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME

Théories et généralités.

Conducteurs, Électrolytes et Diélectriques.

Décharge électrique.

Rayons Rœntgen, rayons Becquerel, etc.



Magnétisme.

Sources d'électricité.

Électricité atmosphérique et magnétisme terrestre.

Thermoélectricité et Thermomagnétisme.

Magnéto-Optique et Électrocapillarité.

Électrobiologie.

APPLICATIONS

Génération et Transformation de l'énergie électrique.




Digitized by Google



Distribution de l'énergie électrique.

Applications mécaniques.

Traction électrique.

Télégraphie et Téléphonie.

Applications thermiques.

Éclairage électrique.

Électrochimie et Électrométallurgie.



MESURES



DIVERS

Sociétés savantes, techniques et industrielles.



Expositions : Concours.

Congrès internationaux.

Exposition universelle.



Nécrologie.

Bibliographie.



TABLE DES NOMS D'AUTEURS


Digitized by Google

F

G

H

I

J

K

L

S

T

V W Z

Téléphone 160-33 **Hy RUCK** *Téléphone 160-33*

24, rue des Petites-Écuries, 24

Isolants électriques : Micanite, Empire-toile, Empire-papier, Verni isolant H. I. C. supérieur

Toutes pièces en micanite sur demande

SPÉCIALITÉ DE LAMES EN MICA COMPOSÉ

Agent de H. W. JOHN'S Mfng Cy pour le Vulcabeston et Mica moulé

MATÉRIEL AÉRIEN ET D'ISOLATION DE TRAMWAY

CHAUFFAGE DES TRAMWAYS PAR L'ÉLECTRICITÉ

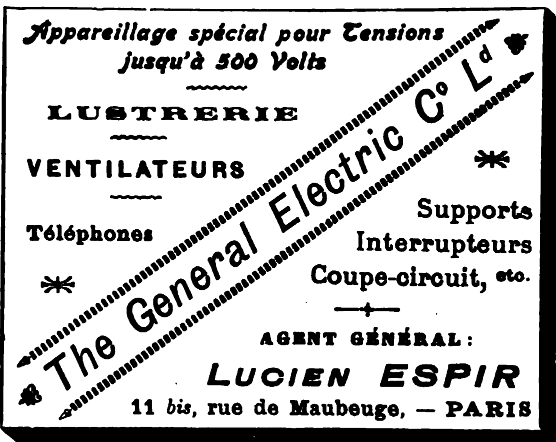
Électrotherms — Chauffage électrique pour habitations

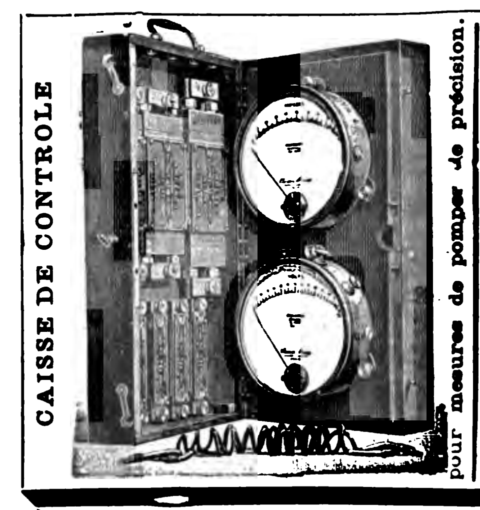
FIBRE VULCANISÉE EN FEUILLES DE TOUTES ÉPAISSEURS EN STOCK TUBES & BAGUETTES

Seul Agent de AMERICAN-HARD FIBRE Co













Woods (G.-T.). 662 049, U S A P, 24 août 1898. Coupe-circuit automatique.

Wright et Aalborg. 15 139, B P, 23 mars 1899. Coupe-circuit automatique.

Holmes. 656 324, U S A P, 1er septembre 1900. Coupe-circuit automatique à maximum.

Scott. 301 157, B F, 12 juin 1900. Perfectionnements aux coupe-circuits magnétiques automatiques.

Thomson. 656 681, U S A P, 8 septembre 1900. Interrupteur.

Christophe. 302 416, B F, 23 juillet 1900. Interrupteur à distance.

Fleischmann. 656 451, U S A P, 1er septembre 1900. Interrupteur automatique.

Lungen. 659 244, U S A P, 23 février 1900. Interrupteur automatique de lampe, commandé par une porte.

Nony. 300 856. B F, 1er juin 1900. Interrupteur automatique de courants électriques afin d'éviter les accidents occasionnés par la rupture d'un conducteur dénommé le « Stopen » (système Nony).

Société Française des cables Berthoud, Borel et Cie. 302 918, B F, 7 août 1900. Interrupteur avec ou sans plomb pour boîtes coupe-circuits de câbles souterrains et autres appareillages.

Baumann. 302 714, B F, 2 août 1900. Interrupteur de sûreté à fils fusibles.

Muthel et Farkas. 301 514, B F, 22 juin 1900. Système d'interrupteurs pour courants électriques de haute tension.

Pilliard. 301 538, B F, 22 juin 1900. Système électromécanique applicable à tous les interrupteurs et permettant de supprimer automatiquement tout courant dans une ligne électrique qui vient à se rompre.

Korner frères (E.-G.) et Mahla. 114 059, D R P, 21 juin 1899. Fusibles.

Hundhausen. 657 414, U S A P, 15 septembre 1900. Fusible.

Sauvageot. 114 066, D R P, 29 octobre 1899. Fusible pour conduite électrique.

Davis. 14 906, B P, 30 janvier 1899. Blocs fusibles.

Siemens et Halske, 114 233, D R P, 11 mars 1899. Dispositif pour avertir de la fusion d'un appareil de sûreté.

Belfield (R.). 114 054, D R P, 14 décembre 1898. Disjoncteur automatique à maxima.

E. A. G. (vorm Schuckert). 114 061, D R P, 12 décembre 1899. Disjoncteur à haute tension avec cornes polaires pour éteindre l'étincelle.

Badger et Plews. 114 055, D R P, 28 février 1899. Mécanisme de rupture d'un circuit dérivé à l'introduction d'un courant de haute tension dans le circuit principal.

Hazazer (E.-W.). 662 234, U S A P, 7 octobre 1899. Dispositif de fermeture de circuit.

Dillon. 657 159, U S A P, 15 septembre 1900. Rhéostat.

Léonard. 657 703, U S A P, 21 septembre 1900. Rhéostat.

Whittingham. 656 004, U S A P, 4 décembre 1897. Rhéostat a résistance automatiquement décroissante.

Carter. 300 436, B F, 18 mai 1900. Rhéostat et Serre-fil ou tampon d'attache combinés.

Athearn. 656 780, U S A P, 8 septembre 1900. Parafoudre.

Taylor. 659 559, U S A P, 12 juin 1900. Parafoudre.

Brown, Boveri and Co. 114 056, D R P, 21 juillet 1899. Disposition de parafoudre pour la protection simultanée de plusieurs conducteurs.

Sintas et Schultz. 302 358, B F, 20 juillet 1900. Appareil de sûreté pour lignes électriques à câble aérien avec ou sans fil protecteur.

Burns. 302 605, B F, 30 juillet 1900. Système perfectionné de protecteur de courants électriques.

Kitsee. 657 221, U S A P, 15 septembre 1900. Relais statique.

Thomas. 300 557, B F, 30 avril 1900. Perfectionnements dans les moyens de protéger les appareils électriques des changements soudains dans le potentiel statique.

Voittequand. 303 217, B F, 27 août 1900. Monture de sonnerie électrique entièrement métallique.

Antony. 302 930, B F, 10 août 1900. Nouveau dispositif de voyant applicable aux tableaux indicateurs électriques de toutes sortes et pouvant servir de relais.

Lafarge. 301 721, B F, 29 juin 1900. Régulateur automatique de courants électriques à tous voltages.

Von Kando. 302 945, B F, 11 août 1900. Perfectionnements aux appareils à contacts électriques.

Siemens et Halske, 114 065, D R P, 31 août 1899. Appareil électrique de distribution avec dispositif pour le passage de la touche d'un plot à l'autre sans arrêt intermédiaire.

Zimpel. 301 448, B F, 20 juin 1900. Machine verticale à recouvrir les fils métalliques, etc.

Maschinenbau Anstalt fur kabel fabrication Conrad Felsing junior. 303 099, B F, 18 août 1900. Machine à enrouler.

Scott, Varley et Anderson, 302 846, B F, 7 août 1900. Perfectionnements dans le bobinage, et l'isolement des fils électriques.

E. A. G. v. Schuckert. 114 060, D R P, 26 septembre 1899. Arrêt pour mécanismes de réglage et de démarrage.

Markey. 656 651, 656 652, U S A P, 8 septembre 1900. Méthode de traitement des charbons poreux pour usage électrique.

Destot, 300 593, B F, 25 Mai 1900. Nouvelle turbine à mercure servant à la fois d'interrupteur et de commutateur pour deux bobines d'induction.

Applications mécaniques

Société Helios Electricitats Aktiengesellschaft. 301 477, B F, 21 juin 1900. Electro-aimant de traction à grande puissance.

Compagnie générale d'électricité de Creil. 302 683, B F, 1er août 1900. Electro-aimant dont le rapport entre la puissance et la charge varie automatiquement avec la course et l'armature.

Siemens et Halske. 114 067, D R P, 10 novembre 1899. Mode d'action pour amoindrir la force d'excitation d'un électro-aimant.

Jones. 6 478, B P, 1900. Mécanisme électro-magnétique.

Varley. 7 609, B P. 1900. Bobines électro-magnétiques.

Blanchet. 302 745, B F, 3 août 1900. Perfectionnements à l'isolement des fils constitutifs de bobines d'induction, électro-aimant et dynamos, etc.

Société Albert Guenee et Cie. 298 493, B F, 23 mars 1900. Perfectionnements aux électro-aimants.

Varley. 299 297, 14 avril 1900. Perfectionnements dans les enroulements électro-magnétiques.

Siemens et Halske. 108 264, D R P, 2 mai 1896. Machine pour recouvrir de papier les plaques de tôle.

Burke. 300 205, B F, 10 mai 1900, Bâti magnétique pour électro-aimants à pôles formés de plusieurs pièces.

Forstrenter (M.). 112 729, D R P, 12 décembre 1899. Appareil de levage actionné électriquement.

Aldridge. 13 424, B P, 1899. Grues électriques.

Aldridge, 13 509, B P, 1899. Grues.

Sec (A.-B.). 651 672, U S A P, 3 novembre 1899. Elévateur.

Mabbs, 657 782, U S A P, 21 septembre 1900. Elévateur.

Lindstrom (N.-O.). 654 656 U S A P, 11 avril 1900. Combinateur pour ascenseur.

Keyser. 657 892, U S A P, 22 septembre 1900. Dispositif de sureté pour élévateur.

Ihlder. 657 416, U S A P, 15 septembre 1900. Contrôleur de vitesse pour élévateur électrique.

Walker. 5 443, B P, 1900. Supports magnétiques pour machines à travailler les métaux.

Grimsham (R.). 111 648, D R P, 3 septembre 1899. Support pour l'outil d'acier d'un tour.

Kirschner (Th.). 111 021, D R P, 15 janvier 1899. Scie à ruban actionnée électriquement.

Smith et Redding. 657 795, U S A P, 21 septembre 1900. Appareil électrique pour métier à tissu.

Atkinson. 302 537, B F, 27 juillet 1900. Perfectionnements aux générateurs d'électricité à effet direct et aux compresseurs électriques actionnés directement pour l'air et d'autres gaz.

Christensen. 297 618, B F, 27 février 1900. Perfectionnements dans les contrôleurs automatiques pour compresseurs électriques.

Ellis et Crichton. 13 118, B P, 1899. Mécanisme pour actionner électriquement les souffleries.

Gaul. 555 861, U S A P, 23 septembre 1899. Ventilateur électrique.

Berliner Maschinenbau (A.-G.) (vorm Schwartzkopff). 111 397, D R P, 28 mai 1899. Toupie électrique pour gyroscope,

Courtney (C.-P.) et Butterworth. 655 433, U S A P, 19 mars 1900. Séparateur électromagnétique.

Ketelsen (A.-J.). 659 237, U S A P, 18 mai 1900. Séparateur de minerais.

Parkinon. 5 975, B P, 1899. Séparateurs magnétiques de limailles de fer et de cuivre.

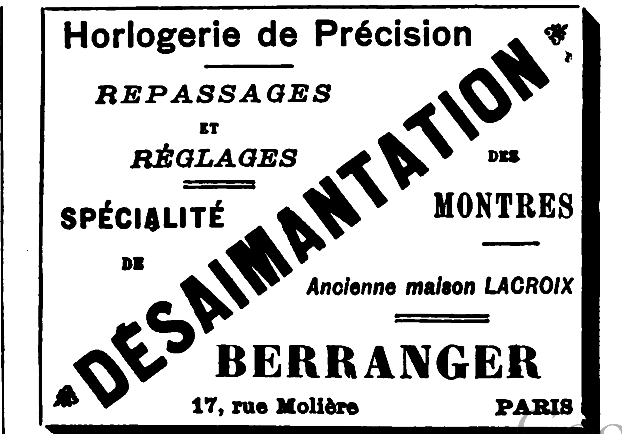
Gates (E). 653 343 à 653 345, U S A P, 26 septembre, 2 décembre et 2 décembre 1899. Appareils de séparation diamagnétique.

Gates (E.). 653 346, U S A P, 2 décembre 1899. Appareils de séparation magnétique.

Langguth (E.). 108 596, D R P, 16 avril 1898. Trieur électromagnétique.



Frank (S.). 111 591, D R P, 31 janvier 1899. Procédé de séparation du café, des graines, des fruits, etc.
Andersson (H.-E.). 108 258, D R P, 12 juillet 1898. Horloge électrique.
Fichter. 657 694, U S A P, 21 septembre 1900. Horloge électrique.
Hoeft. 14 235, BP, 1899. Horloge électrique.
Hollins et Leake. 15 135, B P, 1899, Horloge électrique.
Rose. 5 657 678, U S A P, 21 septembre 1900. Horloge électrique
Thrasher (S.-P.). 653 713, U S A P, 13 janvier 1899. Horloge électrique.
Bastians (J.-H.) 111 887. D R P, 22 septenbre 1899. Horloge électrique protégée contre l'humidité et la poussière.
Adams (E.-K.). 652 875, U S A P, 7 novembre 1899. Pendule électrique.
Digeon. 299 996, B F, 4 mai 1900. Avertisseur universel (système L. Digeon).
Michaelis et Eggerding. 111 193, D R P, 5 avril 1899, Avertisseur électrique.
Krausse (K.-L.). 111 802, D R P, 21 septembre 1898. Avertisseur central électrique.
Hays (E.-D.). 654 631, U S A P, 15 décembre 1899. Avertisseur de niveau d'eau de chaudière.
Alard. 297 800, B F, 3 mars 1900. Dispositif moteur électrique applicable aux indicateurs enregistreurs de niveaux.à distance et autres emplois analogues.
Mech. Treibriemen-Weberei et Seilfabrik Kunz (G.). 111 236, D R P, 31 mars 1899. Commande électrique à distance.
Josephs (Af,-H.) et Ehrenreich. 655 491, U S A P, 27 janvier 1899. Commande à distance pour moteur.
Hofmann (A.). 111 569, D R P, 2 mai 1899. Commande pour machine à éplucher et brosser les graines.
Société dite : Siemens et Halske Aktien Gesellschaft. 297 771, B F, 2 mars 1900. Réunion d'un aimant permanent à un électro-aimant pour déterminer des mouvements à distance.
Thomas (A.-H.). et Richmond (F.-B). 652 302, U S A P, 10 mai 1899. Dispositif d'ouverture et de fepmeture à distance.
Wilson, Evans et Godsal. 10 153, B P, 1899. Procédés de contrôle de mécanismes au moyen d'ondes Hertziennes.
Tschierse (M.). 112 161, D R P, 24 septembre 1899. Mécanisme de commande électrique pour machine hydraulique.
Alcock. 14 224. B P, 1899. Transmetteur d'ordres.
Carleton. 300 464, B F, 19 mai 1900. Système perfectionné d'appareil transmetteur d'ordres ou avertisseur électrique.
Friedlaender (M.). 108 320, D R P, 16 février 1899. Indicateur électromagnétique de direction.
Compagnie Française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. 298 524, B F, 24 mars 1900. Perfectionnements aux instruments indicateurs électriques.
Carleton (H.-G.). 653 469, U S A R, 16 mars 1900. Signal électrique.
Mindach (L.) et Stade (O.). 108 209, D R P, 18 juin 1896. Signal électrique.
Dunham. 657 730, U S A P, 21 septembre 1900. Signal de chemin de fer électrique.
Brower (J.-B.). 662 218, U S A P, 15 novembre 1899. Signal optique de train ou tramway électrique.
Vogel. 656 434, U S A P, 1er septembre 1900. Signal électrique à la fois visible et sonore.
Ellicott. 656 957, U S A P, 8 septembre 1900. Signaux électriques.
Herzog. 13 174, B P, 1899. Signaux.
Perrine. 656 584, U S A P, 1er septembre 1900. Signaux électriques.
Sanor (J. H.). 652 333, U S A P, 19 octobre 1899. Signaux électriques.
Stromberg et Carlson. 655 809, U S A P, 26 avril 1899. Signaux électriques.
Garl. 4 508, B P, 1900. Signaux de chemins de fer.



Scullen. 657 887, U S A P, 22 septembre 1900. Signaux de chemin de fer.
Heïny. 655 777, U S A P, 26 septembre 1899. Système de signaux.
Lattig. 657 170, U S A P, 15 septembre 1900. Système de signaux de chemin de fer.
Yurgae (R.-H.). 654 144, U S A P, 14 mai 1900. Système enregistreur de signaux électriques.
Tiesenhausen. 112 880, D R P, 22 mars 1899. Appareil actionné électriquement pour la couverture d'un train.
Shoecraft (J.). 654 851, U S A P, 10 octobre 1899. Mécanisme de sémaphore.
Thompson. 656 796, U S A P, 8 septembre 1900. Relai pour signaux électriques.
Cumont (F.). 114 966, D R P, 22 novembre 1899. Dispositif électrique d'annonce et de contrôle pour le passage d'un train à un signal.
Coleman (Clyde). 652 734, U S A P, 18 octobre 1897. Système d'alarme.
Ullman. 659 499, U S A P, 17 novembre 1899. Système d'alarme.
Eggerding. 14 568, B P, 1899. Appareil d'alarme.
Sitts (E.-F.). 662 032, U S A P, 10 juillet 1899. Dispositif d'alarme automatique.
Wallace (F.-D.). 655 427, U S A P, 10 octobre 1899. Système d'alarme d'incendie.
Münker. 6 526, B P, 1900. Système d'alarme contre l'incendie.
Mc Knight. 652 934, U S A P, 20 mai 1899. Avertisseur électrique d'incendie.
Munker. 298 065, B F, 12 mars 1900. Conduite électrique à fils jumeaux et à contacts fondants pour avertisseurs d'incendies.
Carleton (H.-G.). 655 057, U S A P, 8 septembre 1899. Thermostat et circuit d'alarme.
Vandevalde. 656 309, U S A P, 1er septembre 1900. Système d'alarme contre le vol.
Petternel. 657 672, U S A P, 21 septembre 1900. Appareil protecteur contre le vol.
Prichard (A.-P.). 108 174, D R P, 27 juillet 1898. Appareil de sûreté contre le vol pour coffre-fort.
Schade. 4 457, B P, 1900. Serrures électriques.
Léonard. 656 821, U S A P, 8 septembre 1900. Dispositif de contrôle.
British electric Works Co. 6 023, B P, 1900. Cloches électriques.
Clarke. 507, B P, 1900. Cloche électrique.
Furgason (C.-H.). 654531, U S A P, 2 octobre 1899. Cloche électrique.
Hansen. 4 109, B P, 1900. Cloche électrique.
Mc Laugklin (M. A.). 652 217, U S A P, 27 décembre 1898. Cloche électrique.
Sedwick (W.-C.). 651 978, U S A P, 5 avril 1899. Cloche électrique.
Reaben. 653 459, U S A P, 1er novembre 1899. Cloche d'appel automatique pour hôtel.
Hansen. 3 527, B P, 1900. Contacts ajustables pour cloche d'alarme.
Lozier. 199 245, 12 avril 1900. Perfectionnements aux sonneries électriques dites « Trembleuses ».
Feldmann et Korach. 301 626, B F, 26 juin 1900. Mécanisme pour fermer et ouvrir à distance les robinets, soupapes et autres organes de réglage.
Maison Bréguet. 299 265, BF, 13 avril 1900, Asservissement à distance d'un moteur électrique.
Joseph et Ehreneeich. 9 981, BP, 1899. Dispositif pour la mise en marche électrique des machines à coudre.
Moody (W.-S.). 654 663, U S A P, 21 mai 1900. Appareil de régulation.
Handy (W.-W.). 652 390, U S A P, 9 mars 1899. Régulateur de turbine.
Horn (O.). 108 103, D R P, 24 février 1899. Indicateur de rupture de la chaîne dans les appareils de tissage.
Alexander (D.). 653 424, U S A P, 30 avril 1900. Egaliseur de vitesse.

Mc Gurty (J.-H.). 654752, USAP), 25 avril 9900. Régulateur de vitesse.
Société Garton Daniels C°. 300-925, BFS, Juin 1900. Régulateur pour contrôleurs de moteurs thermiques.
Société Cance et fils. 302038, BF, 10 juillet 1900. Système d'indicateurs de marche pour lampes ou autres appareils électriques.
Zweigbergk (Th. von). 108115, DRP, 28 septembre 1897. Dispositif électro-magnétique pour la variation de la distance explosive.
Cantor. 114072, DRP, 22 septembre 1899. Relais électrique.
Vesely (J.). 112027, DRP, 25 juin 1899. Appareil électro-magnétique d'ajustement à aiguille.
Pratt (T.-P.). 655006, USAP, 21 avril 1900. Lock électrique.

Traction.

Frischmuth. 657487, USAP, 15 septembre 1900. Système de traction électrique.
Campbell. 656511, USAP, 1er septembre 1900. Chemin de fer électrique.
Chandler 657330, USAP, 15 septembre 1900. Chemin de fer électrique.
Robertson. USAP, 659550, 31 janvier 1900. Chemin de fer électrique.
Robinson. 658075, USAP, 29 septembre 1900. Chemin de fer électrique.
Dion. 657484, USAP, 15 septembre 1900. Chemin de fer électrique à conduite souterraine.
Walkins (L.-E.). 656276, USAP, 1er septembre 1900. Chemin de fer à troisième rail.
Siemens et Halske. 114435, DRP, 22 novembre 1899. Train actionné électriquement avec transformateur placé sur le train.
Pease et Burdon. 14467, BP, 1899. Traction électrique avec conducteur aérien.
Dion. 657311. USAP, 15 septembre 1900. Système de traction à contact superficiel.
Petzenburger. 657830, USAP, 21 septembre 1900. Conducteur et collecteur pour tramway électrique.
Winter (G.) et Futter (E.). 114433. DRP, 25 août 1899. Commutateur et disposition des conducteurs pour tramways électriques à haute tension.
Société anonyme des brevets Dolter. 303109, BF, 18 août 1900. Circuit électrique sectionné avec boîtes de jonction et de dérivation spéciales.
Paul (G.) et Wriggers. 112875, DRP, 1er mars 1898. Mode de connections pour train électrique à commande par conducteur sectionné et relais.
Vedovelli (E.). 112536, DRP, 24 avril 1897. Commutateur pour train électrique à commande par conducteur sectionné.
Tosi de Felice et Parboni. 8584, BP, 1900. Système de traction à contact superficiel.
Wurl (E.). 111187, DRP, 6 janvier 1898. Commutateur à mercure pour tramway électrique à système mixte.
Ehlers (J.-W.). 114695, DRP, 24 mai 1899. Conduite de courant pour train électrique à conducteur mixte.
Cervenka (E.) et Mahlex (S.). 111909, DRP, 20 décembre 1898. Dispositif mixte pour train électrique avec commutation à manette.
E.-A.-G. (vorm. Schuckert). 112030, DRP, 25 novembre 1899. Dispositif de sûreté pour installation à conduite souterraine de train électrique avec commande par parties séparées.
Scanes (A.-E). 111204, DRP, 27 avril 1898. Distributeur pour tramways électriques avec commutateur pour changement de direction.
Union Elektribitats Gesellschaft. 108701, DRP, 5 novembre 1897. Dispositif de sûreté pour distribution de tramway électrique à relais.
Siemens et Haske. 111563, DRP, 30 août 1899. Couple de conducteur pour train actionné électriquement.
Siemens et Halske. 111908, DRP, 16 septembre 1898. Système de conduite de courant pour train électrique avec deux conducteurs disposés suivant le chemin.
Brown. 657757, USAP, 21 septembre 1900. Connecteur de rail.
Hleinschmidt. 656126, USAP, 28 décembre 1899. Connecteur de rails.
Connolly. 657213, USAP, 15 septembre 1900. Trôlet.
Daggett. 658243, USAP, 29 septembre 1900. Trôlet.
Goughnour (H.-S.). 661975, USAP, 12 décembre 1899. Trôlet.

MERRICK. 662 009, USAP, 18 janvier 1900. Trôlet.
SCHAFFER. 656 790, USAP, 8 septembre 1900. Trôlet.
WILLIAMS. 659 355, USAP, 26 avril 1900. Trôlet.
WOLFE. 659 335, USAP, 26 décembre 1899. Trôlet,
LOMBARD-GERIN (L.). 656 030, USAP, 9 janvier 1900. Trôlet automoteur.
SHIRKEY. 657 623, USAP, 21 septembre 1900. Trôlet chasse-neige.
BOURGEOIS. 657 637, USAP, 21 septembre 1900. Tête de trôlet.
OSBORNE (H.-A.). 656 207, USAP, 1er septembre 1900. Roue de trôlet.
FAIRCHILD. 657 342, USAP, 15 septembre 1900. Dispositif d'accrochage de roues de trôlet.
LE TALL. 108 717, DRP, 5 juillet 1898. Prise de courant pour traction électrique à conducteur aérien.
SIEMENS et HALSKE. 112 028, DRP, 20 août 1899. Prise de courant pour train électrique à conducteur aérien.
SIEMENS et HALSKE. 112 029, DRP, 20 septembre 1899. Prise de courant pour train électrique à conducteur aérien.
STRASSEN-EISENBAHN (G.), Hamburg. 115 202, DRP, 15 avril 1900, Prise de contact à trôlet pour train électrique à conducteur aérien.
A. E. G. 112 160, DRP, 30 mai 1899. Prise de courant pour voie électrique avec deux couples de cylindres.
LE TALL (F.W.). 114 436, DRP, 5 juillet 1898. Disposition de prise de courant pour tramway avec conducteur aérien.
SOCIÉTÉ VEDOVELLI et PRIESTLEY. 114 437, DRP, 25 février 1899. Prise de courant pour train avec conducteur souterrain.
SIEMENS et HALSKE. 111 561, DRP, 11 août 1899. Prise de courant enlevable pour tramway électrique à conducteur renfermé dans un canal à fente.
BROWN, BOVERI et Co. 115 010, DRP, 17 novembre 1899. Tige de prise de courant pour train actionné électriquement.
SCHUCKERT (E.-A.-G. vorm). 115 080, DRP, 27 janvier 1900. Tige de frottement à graissage automatique pour train électrique.
SIEMENS et HALSKE. 114 046, DRP, 22 novembre 1899. Conduite de courant du wagon moteur aux autres voitures d'un train électrique.
TOWLE (J.W.). 112 194, DRP, 2 février 1899. Dispositif de liaison entre le moteur et la prise de courant pour chemin de fer électrique.
REED. 656 473, USAP, 1er septembre 1900. Combinateur.
PERKINS. 656 571, USAP, 1er septembre 1900. Combinateur pour moteur électrique.
STULL (E.-W.). 662 038, USAP, 28 décembre 1899. Controller de moteur de tramway.
DUNN (G.-S). 662 375, USAP, 21 mars 1900. Controller pour voltages multiples.
GROSSMAN. 662 358, USAP, 5 juillet 1900. Controller pour moteurs et freins de voitures électriques.
STULL. 662 039, USAP, 8 juin 1900. Controler pour quatre ou un plus grand nombre de moteurs de tramways.
STRASSEN EISENBAHN (G.). 111 846, DRP, 15 novembre 1898. Controller monté directement sur l'arbre du distributeur pour tramway électrique.
RICE (renouvelé). 11 852, USAP, 15 septembre 1900. Système de contrôle de train.
GARRETT (F.-W.). 661 971-972, USAP, 26 mars 1900. Dispositif de commande de plusieurs moteurs de traction.
UNION ELEKTRIZITATS GESELLSCHAFT. 114 048, DRP, 5 mai 1899. Dispositif de commande pour voiture motrice dans lesquels le controller est manœuvré par un moteur auxiliaire.
RIKER. 656 372, USAP, 1er septembre 1900. Balais pour combinateur de tramway.
COLEMAN. 658 238, USAP, 29 septembre 1900. Moteur de traction.
GIBBS. 656 635, 656 636, USAP, 8 septembre 1900. Suspension de moteur électrique.
LE TALL (F.-W.). FOREST HILL. 111 348, DRP, 22 mai 1898. Disposition de frein électrique pour tramway électrique.
HEBERLEIN SELF ACHING RAILWAY BREAK Co LD. 113 967, DRP, 26 octobre 1899. Disposition électrique pour frein à frottment.
ALLGEMEINE ELEKTRIZITAETS GESELLSCHAFT. 114 230, DRP, 9 août 1898. Dispositif pour chemin de fer électrique en vue d'augmenter l'action du frein dans la descente et la force de traction dans la montée.
STRAHMER (A.-G.). 111 401, DRP, 28 juillet 1898. Mécanisme d'arrêt de tramway avec désembrayage électrique.
COLEMAN. 657 516, USAP, 21 septembre 1900. Moteur d'automobile.
COLEMAN. 657 899, USAP, 22 septembre 1900, Moteur d'automobile.
TRIER. 657 046, USAP, 8 septembre 1900. Moteur multiple pour automobiles.

AVIS

Les 709e et 710e livraisons de la ***Grande Encyclopédie*** viennent de paraître.

Prix de la livraison : 1 franc.

Demander à la Direction, *61, rue de Rennes*, un spécimen de l'ouvrage envoyé franco.

